



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento Territorio e sistemi Agro-Forestali

DOTTORATO DI RICERCA IN IDRONOMIA AMBIENTALE
CICLO XX

IL MATERIALE LEGNOSO IN CORSI D'ACQUA A CANALI INTRECCIATI: VOLUMI, MOBILITÀ, DEGRADAZIONE ED INFLUENZA MORFOLOGICA

Coordinatore : Ch.mo Prof. Mario Aristide Lenzi

Supervisore :Ch.mo Prof. Mario Aristide Lenzi

Co-supervisore: Dott. Francesco Comiti

Co-supervisore: Dott. Hervé Piegay

Dottorando : Eliana Pecorari

31 gennaio 2008

"È ricercando l'impossibile che l'uomo ha sempre realizzato il possibile. Coloro che si sono saggiamente limitati a ciò che appariva loro come possibile, non hanno mai avanzato di un solo passo."

Michail Bakunin

RIASSUNTO

L'influenza del legname che naturalmente si trova all'interno del reticolo idrografico sta ricevendo un crescente interesse da parte di diverse discipline (biologiche, geomorfologiche ed ingegneristiche). Le ricerche sviluppate tuttavia hanno riguardato principalmente bacini montani e ancora pochi sono gli studi condotti in merito a corsi d'acqua di maggiori dimensioni.

Lo studio qui presentato affronta lo studio del materiale legnoso all'interno di corsi d'acqua a canali intrecciati considerando le caratteristiche fisiche del materiale legnoso presente nei collettori, lo studio del trasporto del materiale legnoso in alveo e la possibilità di influenza del legname sulla morfologia dei corsi d'acqua. In merito alle caratteristiche fisiche lo studio ha interessato tre corsi d'acqua: il Fiume Piave (Veneto, Italia), il Fiume Magra (Toscana, Italia) e il Fiume Ain (Rhône-Alpe, Francia) permettendo di individuare alcune variabili confrontabili per una stessa specie (*Populus nigra*) ed evidenziare delle similitudini nell'ipotesi di condizioni ambientali (temperatura e umidità) confrontabili al momento del prelievo. Dall'analisi dei campioni prelevati si è riscontrato che la densità media è risultata essere variabile tra 0.25 e 0.35 g/cm³ con una significativa differenza tra i corsi d'acqua: nel fiume Ain è risultata inferiore rispetto al Magra e al Piave. L'età dei campioni presenta valori medi simili nel caso del Piave (16 anni) e del Magra (17 anni), mentre è nettamente più alta nel caso dell'Ain (31 anni) a differenza del coefficiente di crescita che non presenta evidenti scostamenti tra i valori. L'unica variabile che riporta risultati non paragonabili è la resistenza a penetrazione nel caso del Piave, molto più alta della resistenza media per il Fiume Ain e per il Fiume Magra, che rimane significativamente legata all'età media dei campioni prelevati ma su cui, tuttavia, risulterebbe interessante effettuare ulteriori indagini.

In merito al trasporto di materiale legnoso è stato condotto uno studio di monitoraggio del materiale legnoso mediante trasmettitori di radiofrequenza che sono stati posizionati all'interno di dieci tronchi ulteriormente identificati con tacche metalliche arenati all'interno del canale al fine di controllare l'eventuale spostamento in seguito a piena. Nonostante la fine del 2005 e gli ultimi due anni, 2006-2007 (periodo di sperimentazione), non siano stati caratterizzati da eventi di piena particolari è stato possibile riscontrare la mobilitazione di un tronco monitorato (T3) in seguito ad erosione di

sponda. Il tronco si è spostato per una lunghezza di circa 4000 m pari a 18 volte la larghezza media di *bankfull* nel tratto di Praloran.

La maggior parte dei rilievi rivolti alla quantificazione del materiale legnoso e alla sua distribuzione nelle varie unità morfologiche sono stati effettuati all'interno di un tratto del Fiume Piave di circa 30 km compreso tra Ponte nelle Alpi e Busche, due abitati in provincia di Belluno.

In questo tratto il Fiume Piave è caratterizzato da una tipologia morfologica predominante a canali intrecciati (*braided*) presentando comunque alcune zone in cui l'andamento è di tipo *wandering* e in altre a barre alternate. Per ovviare alle diverse problematiche logistiche riscontrate durante i rilievi si è deciso di perseguire due approcci diversi: uno di campo realizzando un programma di monitoraggio e misurazione del materiale legnoso e un altro studiando delle foto aeree ottenute in seguito ad un volo effettuato sul tratto nello stesso periodo (risoluzione dei pixel pari a 10 cm). In questa maniera è stato possibile confrontare i dati di campo con ciò che risulta visibile dalle foto aeree stimando l'errore commesso e potendo in seguito quantificare il materiale presente in un'area più estesa raggiungendo anche zone inaccessibili fisicamente ($E_D < 50\%$ per $D < 15$ cm; $40 < E_D < 50\%$ per 15 cm $< D < 20$ cm; $E_D < 10\%$ per $D > 20$ cm). Il confronto dei valori derivati dalle due diverse metodologie sembra suggerire un approccio che potrebbe risultare più agevole per fiumi di grandi dimensioni.

I risultati ottenuti dall'analisi per la quantificazione del materiale legnoso condotta nel tratto studiato sul Fiume Piave mostrano che il volume ipotizzabile di materiale legnoso può essere variabile tra un valore minimo pari a 3.67 m³/ha e un valore massimo pari a 9.14 m³/ha in tutto il tratto studiato. Gli elementi singoli presentano un diametro medio pari a 28 cm mentre la lunghezza media riscontrata è pari a 7.5 m. Tra le specie riscontrate risultano dominanti quelle tipiche della fascia di pertinenza fluviale (Salicaceae), mentre la presenza di conifere e altre latifoglie deriva principalmente dall'erosione spondale agente su terrazzi recenti (< 30 anni).

Dallo studio dei singoli tratti è risultato che una conformazione morfologica a canali intrecciati tende ad accumulare una maggior quantità di materiale legnoso, mentre zone di tipo *wandering* sono maggiormente tendenti al trasporto. Il materiale legnoso è distribuito principalmente sulle barre (alte e basse) mentre la presenza all'interno delle isole risulta aumentare per i tratti a canali intrecciati di maggiori dimensioni quali Levego, Longano e

Lentiai. Dall'analisi statistica risulta una forte correlazione negativa tra il volume dei singoli e l'area relativa dei canali di magra mentre nel caso degli accumuli il volume è fortemente correlato positivamente all'area relativa delle isole. Nel tratto esaminato sono state riscontrate diverse isole la cui formazione è facilmente riconducibile a posteriori dell'evento di piena che ha caratterizzato il corso d'acqua nel 2002.

L'utilizzo di foto aeree ha rappresentato un forte aiuto nella ricerca svolta. Il superamento di difficoltà logistiche legate alla non accessibilità di alcuni tratti del corso d'acqua e ai tempi più lunghi dei rilievi dettati dalle condizioni meteorologiche e dallo spostamento fino al luogo di indagine ha agevolato il lavoro rendendo possibile l'individuazione di un numero maggiore di elementi con minor tempo rispetto a quanto è stato possibile fare in campo.

SUMMARY

Natural wood in rivers has received wider attention in the scientific community only over the past two decades from different perspectives (biological, geomorphological and engineering). Wood has been studied mostly in mountain basins whereas large rivers have been less investigated.

The present research deals with different aspects related to in-channel wood in gravel bed rivers, including physical wood characteristics, wood storage and transport, and link between wood abundance and river morphology.

The analysis of physical characteristics of wood was carried out in three rivers: the Piave River (Veneto, Italy), the Magra River (Toscana, Italy) and the Ain River (Rhône-Alpe, France). Different variables were compared for a specific species (*Populus nigra*). Mean wood density range from 0.25 to 0.35 g/cm³, with Ain's values differing significantly from the other rivers. The age of sampled wood elements is similar in the Piave and in the Magra (16 and 17 yr, respectively), whereas Ain's samples are much older (31 yr). The growth coefficient s_i instead similar for the three rivers, but resistance to penetration is significantly higher in the Piave and presents a positive correlation with sample's age.

As to wood transport, 10 logs were tagged with metal tags and radiofrequency transmitters to monitor their mobility. Unfortunately, the 2005 fall season was very dry and no significant events occurred, also the 2006 spring snowmelt runoff did not reach a sufficient stage to mobilize the tagged logs. In September 2006, the largest event of the year (below bankfull stage) did not reach the logs, but the bar erosion taking place near one tagged log caused its recruitment into the flow and its transport downstream. Transport distance was about 4 km, i.e. about 18 times the mean channel width

The wood storage survey has regarded a 30 km reach in the Piave river between Ponte nelle Alpi and Busche (Belluno). Here the rivers features braided and wandering morphologies. Two integrated methods were implemented: field measurements in selected plots and interpretation of high-resolution (10 cm pixel) aerial photos at the reach scale.. Errors associated to wood measurements by using aerial photographs were evaluated the field plots. Results are encouraging, showing a good potential and efficiency of such approach for rivers where a total field survey would be unfeasible ($E_D < 50\%$ per $D < 15$ cm; $40 < E_D < 50\%$ per $15 \text{ cm} < D < 20 \text{ cm}$; $E_D < 10\%$ per $D > 20 \text{ cm}$).

The analysis based on aerial photos led to estimate average wood load to be within the range 3.7 – 9.1 m³/ha, depending on how wood jam volume is computed. Single wood elements present a mean diameter of 28 cm and a mean length of 7.5 m. Tree species indicate most of the wood derives from the riparian corridor but other species are also present due to lateral erosion of recent low terraces.

The analysis of wood storage at different reaches showed that wood is more abundant in braided channel more than in wandering reaches. Wood is mostly located on bars (rather equally in high and low ones), but a considerable fraction of wood is associated to islands in the wider braided reaches. A strong negative correlation is present between single wood elements' volume and relative area occupied by low flow channels, whereas wood jam volume is strongly correlated with the relative area of islands.

INDICE

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova	1
IL MATERIALE LEGNOSO IN CORSI D'ACQUA A CANALI INTRECCIATI: VOLUMI, MOBILITÀ, DEGRADAZIONE ED INFLUENZA MORFOLOGICA	1
1 INTRODUZIONE	1
1.1 Generalità	1
1.2 Rischi e benefici ambientali	4
1.3 Caratteristiche fisiche del materiale legnoso	7
1.3.1 Relazione tra le caratteristiche del materiale legnoso e i processi fluviali	10
1.3.2 Dinamica del legname in alveo e proprietà del legname	11
1.3.2.1 Trasporto	13
1.3.2.2 Idrodinamica del moto per fluitazione.	14
1.3.2.1 Tipologie e disposizione del materiale legnoso in alveo	16
1.3.3 Metodologie di studio e modellistica	20
1.4 Il materiale legnoso in corsi d'acqua a canali intrecciati	23
1.4.1 Produzione del materiale legnoso e mobilità all'interno del "river continuum"	26
1.4.2 Processi nei corsi d'acqua di grandi dimensioni	29
1.4.3 Interazione tra il materiale legnoso e la morfologia d'alveo	31
1.4.3.1 Siti di deposito	31
1.4.3.2 Efficienza di cattura	33
1.4.3.3 Effetti sulla piana alluvionale	34
1.4.3.4 Formazione di isole fluviali	35
1.4.4 Aspetti ecologici del materiale legnoso all'interno dei grandi corsi d'acqua	38
1.4.5 Impatto antropico	40
1.4.6 Metodologie utilizzate in precedenti studi: Queets River e Tagliamento.	41
2 OBIETTIVI	45
3. AREA DI STUDIO E METODOLOGIE UTILIZZATE	47
3.1 Introduzione	47
3.2 Area di studio e siti sperimentali	49
3.2.1 Fiume Piave	49
3.2.2 Fiume Magra	61
3.2.3 Fiume Ain	62
3.3 Materiali e metodologie	65
3.3.1 Studio delle caratteristiche fisiche dei campioni di materiale legnoso raccolto	65
3.3.2 Trasmettitori di radiofrequenza	69
3.3.3 Rilievi di campo	76
3.3.4 Fotointerpretazione	77
3.3.4.1 Individuazione delle unità morfologiche	77
3.3.4.2 Confronto dati di campo e dati ottenuti tramite fotointerpretazione	79
3.3.4.3 Analisi della distribuzione del materiale legnoso all'interno del tratto studiato	79
3.3.4.4 Quantificazione del volume del materiale legnoso	81
3.3.4.5 Studio della relazione tra quantità di materiale legnoso e zone erose	82
4. RISULTATI	85

4.1.	Caratteristiche fisiche del materiale legnoso	85
4.2.	Mobilità dei tronchi monitorati	92
4.3.	Quantità, dimensioni e caratteristiche del materiale legnoso rilevato in campo	95
4.4.	Caratteristiche delle Isole Pioniere rilevate in campo	108
4.5.	Valutazione della precisione di misura del materiale legnoso tramite foto aeree	113
4.6.1.	Analisi geomorfologica dei tratti indagati	122
4.6.2.	Ripartizione del materiale legnoso nei sette tratti e nel tratto totale	130
4.6.2.1.	Sagogna	138
4.6.2.2.	Levego	141
4.6.2.3.	Praloran	144
4.6.2.4.	Cesa	147
4.6.2.5.	Longano	150
4.6.2.6.	Nave	153
4.6.2.7.	Lentiai	156
4.6.3.	Analisi statistica della distribuzione del materiale legnoso	160
4.6.3.1.	Analisi multivariata	161
4.6.3.2.	Analisi della varianza (ANOVA)	164
4.6.3.3.	Analisi di correlazione	173
4.6.3.4.	Regressione multipla per la creazione di un modello predittivo	177
4.6.3.5.	Distribuzione del materiale legnoso in relazione alla presenza di isole	184
5.	DISCUSSIONE	187
5.1.	Permanenza del materiale legnoso in alveo	187
5.2.	Vantaggi e svantaggi della metodologia utilizzata	188
5.3.	Relazione tra morfologia dell'alveo e materiale legnoso	190
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	197
7.	BIBLIOGRAFIA	201

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1T. Tina (Bolzano): colata di detriti con legname di circa 500.000 m ³ seppellisce parzialmente il villaggio di Chiusa (9/08/1921)	5
Figura 1.2 Accumulo di materiale legnoso formatosi in seguito alla piena del 4 Novembre 1966, Caprile (Belluno).	6
Figura 1.3 Rottura di argine causata dal trasporto di materiale legnoso nel Fiume Ombrone (Toscana, 1966), (Lezione_Rinaldi, 2006).	6
Figura 1.4 Materiale legnoso presente trasportato durante l'evento di piena del 18/09/2007 (Slovenija).	7
Figura 1.5 Relativa importanza di materiale legnoso, geomorfologia e caratteristiche idrologiche nell'influenzare la trattenuta di materiale legnoso per corsi d'acqua di diversa grandezza (Gurnell et al. 2002).	11
Figura 1.6 Tipologie di accumulo: a) underflow jam; b) parallel/bar head jam (Wallerstein et al., 1997).	18
Figura 1.7 Tipologie di accumulo: a) deflector jam; b) dam jam (Wallerstein et al., 1997).	18
Figura 1.8 Modello concettuale dei fattori controllanti la produzione di materiale legnoso e il tempo di residenza per grandi corsi d'acqua (Piégay, 2003).	26
Figura 1.9 Cambiamenti stimati del volume prodotto, tempo di residenza e dimensioni medie del materiale legnoso per tratti da monte a valle di un corso d'acqua generico (Piégay, 2003).	27
Figura 1.10 Portata e volume di materiale legnoso estratto mensilmente nel 1995 presso la diga di Beauvoir lungo il Fiume Isère, Grenoble, Francia (Piégay, 2003).	30
Figura 1.11 Tipologia di accumuli di materiale legnoso in grandi corsi d'acqua, (Gurnell et al., 2002).	32
Figura 1.12 Meandro del Fiume Ain in corrispondenza dell'abitato di Mollon, (Lyon, Francia) (Piégay, 2003).	35
Figura 1.13 Isola pioniera (Gurnell et al., 2005).	36
Figura 1.14 Sviluppo di un'isola fluviale a partire da materiale legnoso(Gurnell et al., 2005).	37
Figura 1.15 Impatto ipotetico sulla forma di una barra in relazione alla quantità di materiale legnoso presente (Gurnell et al., 2005).	38
Figura 3.1 Bacino del Fiume, Piave.	49
Figura 3.2 Tratto del Fiume Piave studiato compreso tra Ponte nelle Alpi e Busche (Belluno).	55
Figura 3.3 Tratto di Praloran dove sono stati installati i trasmettitori vicino alla località di Limana, (Belluno).	56
Figura 3.4 Praloran, canale centrale nel tratto di installazione dei trasmettitori.	57
Figura 3.5 Praloran, barra attiva nel tratto di installazione dei trasmettitori.	57
Figura 3.6 Sezioni misurate nel tratto di Praloran.	58
Figura 3.7 Zone studiate all'interno del tratto in esame.	59
Figura 3.8 Zone studiate nel tratto presso Levego e Sagrognà.	60
Figura 3.9 Zone studiate nel tratto presso Praloran e Longano.	60
Figura 3.10 Zone studiate nel tratto presso Nave e Lentiai.	61
Figura 3.11 Bacino del Fiume Magra.	61
Figura 3.12 Bacino del Fiume Ain.	63
Figura 3.13 Meandro in corrispondenza dell'abitato di Mollon (Lyon, Francia).	64

Figura 3.14 Taglio dei campioni nel Fiume Piave (Belluno, Italia).	65
Figura 3.15 Valutazione del volume di un campione, Laboratorio Bron del CNRS (Lyon, Francia).	66
Figura 3.16 Stufa essiccatrice dei campioni, Laboratorio Bron del CNRS (Lyon, Francia).	66
Figura 3.17 Visualizzazione degli anelli nel riconoscimento delle specie, Laboratorio Bron del CNRS (Lyon, Francia).	67
Figura 3.18 Rilevamento della resistenza a penetrazione in campo, Fiume Ain, (Lyon, Francia).	68
Figura 3.19 Radiotrasmittitori, (Telonics), (a) e tipologia di atg utilizzato durabte i rilievi.	69
Figura 3.20 Ricetrasmittitore TR-4, (Telonics).	70
Figura 3.21 Antenna RA-1 e cavo assiale, (Telonics).	70
Figura 3.22 Sezione 1 all'interno del tratto di Praloran (Belluno) dove sono stati installati i trasmettitori.	72
Figura 3.23 Sezione 2 all'interno del tratto di Praloran (Belluno) dove sono stati installati i trasmettitori.	73
Figura 3.24 Tronchi 1 e 2.	74
Figura 3.25 Tronchi 3 e 4.	74
Figura 3.26 Tronchi 5 e 6	75
Figura 3.27 Tronchi 7 e 8.	75
Figura 3.28 Tronchi 9 e 10.	75
Figura 3.29 Conteggio dei tronchi su foto aerea tramite ArcGis 9.2.	80
Figura 4.1 Distribuzione della densità nei tre fiumi considerati.	85
Figura 4.2 Distribuzione della densità secondo le 7 classi di decomposizione.	86
Figura 4.3 Distribuzione delle densità rispetto alle classi considerando i tre fiumi interagenti tra loro tramite analisi della varianza ANOVA fattoriale.	86
Figura 4.4 Distribuzione dell' età per i tre fiumi.	87
Figura 4.5 Distribuzione del coefficiente di crescita per i tre fiumi.	87
Figura 4.6 Distribuzione della resistenza media nei tre fiumi.	88
Figura 4.7 Grafico delle coordinate fattoriali delle variabili per l'analisi a componenti principali (PCA) applicata alle variabili D, diametro, G, ρ , densità, R, resistenza, C, classi di decomposizione, Età, G, crescita.	90
Figura 4.8 Grafico delle coordinate fattoriali dei dell'analisi a componenti principali (PCA) applicata alle variabili D, diametro, G, ρ , densità, R, resistenza, C, classi di decomposizione, Età, G, crescita.	90
Figura 4.9 Distribuzione della densità rispetto all'anno di morte dei campioni prelevati dal Fiume Ain e dal Fiume Magra.	92
Figura 4.10 Spostamento del tronco T3.	93
Figura 4.11 Posizione del tronco T3 prima dello spostamento durante il posizionamento del trasmettitore nel novembre 2005 (a) e posizione del tronco 3 prima dello spostamento, agosto 2006 (b).	94
Figura 4.12 Posizione del tronco T3 dopo lo spostamento (a); particolare del punto in cui è inserito il trasmettitore (b); Cesa, settembre 2006.	94
Figura 4.13 Specie presenti tra i campioni misurati in campo.	95
Figura 4.14 Percentuale di singoli e accumuli presenti tra i campioni misurati in campo	96
Figura 4.15 Accumulo costituito da pochi elementi e poco materiale fine.	96
Figura 4.16 Accumulo caratterizzato da molto materiale fine (< 10 cm di diametro).	97

Figura 4.17 Accumulo colonizzato da vegetazione erbacea ed arbusti.	97
Figura 4.18 Numero di elementi con diametro superiore ai 10 cm.	98
Figura 4.19 Distribuzione del materiale legnoso fine all'interno degli accumuli.	98
Figura 4.20 Percentuale di accumuli colonizzati da vegetazione distinti sulla base della tipologia: erbacea, cespugli, pioniera, stabilizzata o assente.	99
Figura 4.21 Classi di altezza degli accumuli rilevati.	100
Figura 4.22 Distribuzione dell'altezza rispetto all'area degli accumuli rilevati.	100
Figura 4.23 Percentuale di presenza di materiale legnoso distinto secondo le tipologie individuate.	101
Figura 4.24 Elemento singolo (<i>log</i>) ritrovato su barra alta.	101
Figura 4.25 Cespuglio (<i>shrub</i>).	101
Figura 4.26 Albero intero (<i>trunk</i>).	102
Figura 4.27 Residuo di taglio di un albero depositato in alveo.	102
Figura 4.28 Classi diametriche dei i campioni misurati in campo (Fiume Piave, Belluno).	103
Figura 4.29 Classi di lunghezza dei i campioni misurati in campo (Fiume Piave, Belluno).	103
Figura 4.30 Percentuale di elementi singoli caratterizzati da percentuali diverse di corteccia.	104
Figura 4.31 Caratteristiche dei rami riscontrate per gli elementi singoli rilevati.	104
Figura 4.32 Percentuale di elementi singoli caratterizzati dalla presenza o dall'assenza di radici.	105
Figura 4.33 Classi di lunghezza delle radici degli elementi singoli rilevati.	105
Figura 4.34 Classi di diametro delle radici degli elementi singoli rilevati.	105
Figura 4.35 Distribuzione degli accumuli presenti tra i campioni misurati in campo rispetto alle unità morfologiche considerate in campo.	106
Figura 4.36 Distribuzione degli elementi singoli presenti tra i campioni misurati in campo rispetto alle unità morfologiche considerate in campo.	106
Figura 4.37 Interazione del materiale legnoso degli accumuli con i sedimenti, (Fiume Piave, Belluno).	107
Figura 4.38 Tessitura sabbiosa attorno all'accumulo rispetto al sedimento ghiaioso prevalente nella barra.	107
Figura 4.39 Tipologia di sedimento presente in prossimità degli accumuli misurati.	108
Figura 4.40 Isola Pioniera rilevata nel tratto di Nave.	109
Figura 4.41 Isola pioniera caratterizzata da un unico albero, <i>Populus nigra</i> .	109
Figura 4.42 Frequenza delle classi di area delle isole pioniere rilevate.	110
Figura 4.43 Frequenza delle classi diametriche delle piante presenti nelle isole pioniere rilevate.	110
Figura 4.44 Frequenza delle classi di altezza delle piante presenti nelle isole pioniere rilevate.	110
Figura 4.45 Specie conteggiate all'interno delle isole pioniere rilevate.	111
Figura 4.46 Isola Pioniera costituita da piante di specie diverse: <i>Salix spp.</i> , <i>Populus nigra</i> , <i>Buddleja</i> e <i>Alnus incana</i> .	111
Figura 4.47 Classi di materiale legnoso all'interno delle isole rilevate.	112
Figura 4.48 Distribuzione del sedimento fino all'interno delle isole rilevate nelle tre zone.	112
Figura 4.49 Presenza di pozze per le isole pioniere rilevate.	113
Figura 4.50 Pozza generatasi presso un' isola pioniera.	113

Figura 4.51 Individuazione del materiale legnoso tramite foto aerea: difficoltà di distinzione in base al colore.	114
Figura 4.52 Individuazione del materiale legnoso tramite foto aerea: difficoltà nell'individuazione delle radici.	115
Figura 4.53 Errore associato alla stima del diametro degli elementi legnosi tramite foto aerea.	116
Figura 4.54 Distribuzione dell'errore commesso nella valutazione del diametro degli elementi singoli nei tratti studiati.	116
Figura 4.55 Errore associato alla stima della lunghezza degli elementi legnosi tramite foto aerea.	117
Figura 4.56 Distribuzione dell'errore commesso nella valutazione della lunghezza degli elementi singoli nei tratti studiati.	117
Figura 4.57 Errore legato alla stima delle aree degli accumuli tramite foto aeree.	118
Figura 4.58 Distribuzione dell'errore commesso nella valutazione dell'area degli accumuli nei tratti studiati.	118
Figura 4.59 Confronto volumi dei singoli calcolati con i due metodi.	119
Figura 4.60 Confronto volumi dei singoli calcolati con i due metodi.	120
Figura 4.61 Confronto tra volumi per ettaro nei tre casi considerati.	122
Figura 4.62 Estensione dell'alveo attivo (incluse isole) per i sette tratti analizzati.	123
Figura 4.63 Lunghezza percentuale di sponde boscate nei tratti studiati.	124
Figura 4.64 Lunghezza percentuale di difese spondali nei tratti studiati.	125
Figura 4.65 Curva cumulata delle superfici boscate erose durante la piena del 2002 nel tratto da Ponte nelle Alpi e Busche (Belluno).	126
Figura 4.66 Ripartizione areale delle unità morfologiche nel tratto considerato: a) barre e canali; b) isole.	127
Figura 4.67 Ripartizione numerica delle unità morfologiche nel tratto considerato: a) barre e canali; b) isole.	127
Figura 4.68 Ripartizione areale e numerica delle categorie morfologiche.	128
Figura 4.69 Distribuzione areale delle categorie morfologiche nei tratti studiati.	129
Figura 4.70 Ripartizione areale delle Isole a) e delle isole pioniere b) nei tratti studiati.	129
Figura 4.71 Percentuale di volume di materiale legnoso presente in ogni tratto distribuito secondo le categorie morfologiche.	130
Figura 4.72 Distribuzione volume minimo e massimo a) e ripartizione numerica b) nelle unità morfologiche.	131
Figura 4.73 Distribuzione volume minimo e massimo e dei singoli e degli accumuli a) ripartizione numerica dei singoli e degli accumuli b) nelle unità morfologiche.	132
Figura 4.74 Distribuzione volume minimo e massimo a) e ripartizione numerica b) nelle categorie di unità morfologiche individuate.	132
Figura 4.75 Distribuzione volume minimo e massimo e dei singoli e degli accumuli a) ripartizione numerica dei singoli e degli accumuli b) nelle categorie di unità morfologiche individuate.	133
Figura 4.76 Densità volumetrica di V_M e V_{AC} nelle singole zone.	133
Figura 4.77 Densità volumetrica di singoli e accumuli nelle singole zone.	134
Figura 4.78 Frequenza delle classi diametriche dei tronchi nel tratto di studio.	134
Figura 4.79 Frequenza delle classi di lunghezza dei tronchi nel tratto di studio.	135
Figura 4.80 Frequenza delle classi di area degli accumuli nel tratto di studio.	135
Figura 4.81 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Sagrogn e Levego.	136
Figura 4.82 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Praloran e Cesa.	136

Figura 4.83 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Longano e Nave.	136
Figura 4.84 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Lentiai.	136
Figura 4.85 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Sagrognna e Levego.	137
Figura 4.86 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Praloran e Cesa.	137
Figura 4.87 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Longano e Nave.	137
Figura 4.88 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Lentiai.	137
Figura 4.89 Distribuzione dello scostamento della direzione media dei tronchi dalla direzione del canale per ogni tratto.	138
Figura 4.90 Unità morfologiche all'interno del tratto di Sagrognna.	139
Figura 4.91 Distribuzione percentuale delle aree delle unità morfologiche a) e distribuzione numerica delle isole b) all'interno del tratto di Sagrognna.	139
Figura 4.92 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Sagrognna.	140
Figura 4.93 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Sagrognna.	140
Figura 4.94 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche tratto di Sagrognna.	141
Figura 4.95 Unità morfologiche all'interno del tratto di Levego.	142
Figura 4.96 Distribuzione delle aree percentuali delle unità morfologiche a) e della numerosità delle isole b) all'interno del tratto di Levego.	142
Figura 4.97 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Levego.	143
Figura 4.98 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Levego.	143
Figura 4.99 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Levego.	144
Figura 4.100 Unità morfologiche all'interno del tratto di Praloran.	145
Figura 4.101 Distribuzione delle unità morfologiche all'interno del tratto di Praloran.	145
Figura 4.102 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Praloran.	146
Figura 4.103 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Praloran.	146
Figura 4.104 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Praloran.	147
Figura 4.105 Unità morfologiche all'interno del tratto di Cesa.	148
Figura 4.106 Distribuzione delle unità morfologiche all'interno del tratto di Cesa.	148
Figura 4.107 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Cesa.	149
Figura 4.108 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Cesa.	149
Figura 4.109 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Cesa.	150
Figura 4.110 Unità morfologiche all'interno del tratto di Longano.	151
Figura 4.111 Distribuzione dell'area percentuale delle unità morfologiche a) e distribuzione del numero di isole b) all'interno del tratto di Longano.	151
Figura 4.112 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Longano.	152

Figura 4.113 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Longano.	152
Figura 4.114 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Longano.	153
Figura 4.115 Unità morfologiche all'interno del tratto di Nave	154
Figura 4.116 Distribuzione dell'area percentuale delle unità morfologiche a) e distribuzione del numero di isole all'interno del tratto di Nave.	154
Figura 4.117 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Nave.	155
Figura 4.118 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di	155
Figura 4.119 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Nave.	156
Figura 4.120 Unità morfologiche all'interno del tratto di Lentiai.	157
Figura 4.121 Distribuzione delle unità morfologiche all'interno del tratto di Lentiai.	157
Figura 4.122 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Lentiai.	158
Figura 4.123 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di	159
Figura 4.124 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Lentiai.	159
Figura 4.125 Scree-plot degli autovalori associati alla matrice di correlazione.	162
Figura 4.126 Proiezione delle variabili sul piano fattoriale.	163
Figura 4.127 Proiezione dei casi sul piano fattoriale.	163
Figura 4.128 Distribuzione della lunghezza dei tronchi categorizzata per unità morfologiche.	165
Figura 4.129 Distribuzione della lunghezza dei tronchi all'interno delle categorie.	165
Figura 4.130 Distribuzione della lunghezza dei tronchi all'interno delle zone.	166
Figura 4.131 Distribuzione del diametro dei tronchi all'interno delle unità morfologiche.	167
Figura 4.132 Distribuzione del diametro dei tronchi all'interno delle unità morfologiche, casi esclusi.	167
Figura 4.133 Distribuzione del diametro dei tronchi all'interno delle zone.	168
Figura 4.134 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche.	169
Figura 4.135 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche esclusi canali e isole.	169
Figura 4.136 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle zone.	170
Figura 4.137 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche.	171
Figura 4.138 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche esclusi canali e isole.	172
Figura 4.139 Distribuzione del volume degli accumuli all'interno delle zone.	172
Figura 4.140 Relazione tra volume legnoso totale e area delle isole.	179
Figura 4.141 Relazione tra volume degli elementi singoli e area delle isole.	180
Figura 4.142 Relazione tra volume degli accumuli e area delle isole.	181
Figura 4.143 Relazione tra il volume degli accumuli e la percentuale di elementi con radici.	184
Figura 4.144 Distribuzione e analisi delle distanze minime degli elementi legnosi dalle isole.	185

Figura 4.145 Frequenza di distribuzione delle distanze degli elementi legnosi dalle isole più vicine nel tratto di Levego.	185
Figura 4.146 Frequenza di distribuzione delle distanze degli elementi legnosi dalle isole più vicine nel tratto di Longano.	186
Figura 4.147 Frequenza di distribuzione delle distanze degli elementi legnosi dalle isole più vicine nel tratto di Lentiai.	186
Figura 5.1 Distribuzione del materiale legnoso lungo una sezione del River Ubaye in un tratto a canali intrecciati, (Piégay e Gurnell, 1997).	193
Figura 5.2 Percentuale di volume di materiale legnoso presente in ogni tratto distribuito secondo le categorie morfologiche.	194
Figura 5.3 Tendenza di tratti studiati al deposito o al trasporto calcolata come differenza del materiale legnoso misurato nel tratto e la quantità di materiale legnoso creatosi in seguito ad erosione della sponda boscata.	196

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1 Modelli di simulazione dinamica del legno (Rinaldi, 2007, ripresa da Gregory, 2003).	22
Tabella 1.2 Caratteristiche generali di diversi corsi d'acqua di grandi dimensioni (Piégay, 2003).	25
Tabella 3.1 Classi di decomposizione del materiale prelevato.	67
Tabella 3.2 Caratteristiche principali dei tronchi in cui sono stati installati i trasmettitori.	74
Tabella 3.3 Tabella caratteristiche morfologiche dei tratti analizzati tramite foto aerea	78
Tabella 4.1 Correlazioni di Pearson considerate marcate significative al livello $p < 0.05$ tra le variabili D, diametro, G, ρ , densità, R, resistenza, C, classi di decomposizione, Età, G, crescita.	88
Tabella 4.2 Autovalori nell'analisi a componenti principali.	89
Tabella 4.3 Autovettori nell'analisi a componenti principali.	89
Tabella 4.4 Campioni del Magra analizzati con il C14 per datare l'anno di morte (risultati gentilmente concessi dal <i>Centre de datation par le Radiocarbone Université Claude Bernard Lyon</i>).	91
Tabella 4.5 Campioni dell'Ain analizzati con il C14 per datare l'anno di morte (risultati gentilmente concessi dal <i>Centre de datation par le Radiocarbone Université Claude Bernard Lyon</i>).	91
Tabella 4.6 Dimensioni massime e medie di area, altezza e volume degli accumuli rilevati.	99
Tabella 4.7 Area massima, minima e media, diametro massimo e medio e altezza massima e media delle isole rilevate nelle tre zone.	109
Tabella 4.8 Volumi e numero di singoli e accumuli per i casi II e III.	121
Tabella 4.9 Lunghezza e larghezza medie nel tratto considerato e all'interno delle singole zone.	123
Tabella 4.10 Sponde boscate e difese spondali nei tratti studiati., (totale delle due sponde destra e sinistra).	124
Tabella 4.11 Numero, area e area media delle unità morfologiche presenti nell'intero tratto considerato.	126
Tabella 4.12 Tabella dei codici utilizzati nell'analisi statistica	160
Tabella 4.13 Matrice degli autovalori dell'analisi a componenti principali.	161
Tabella 4.14 Matrice degli autovettori dell'analisi a componenti principali.	162
Tabella 4.15 Test Univariati di Significatività per la lunghezza rispetto alle unità morfologiche e alle zone.	164
Tabella 4.16 Test Univariati di Significatività per la lunghezza rispetto alle barre.	165
Tabella 4.17 Test Univariati di Significatività per il diametro rispetto alle unità morfologiche e alle zone.	166
Tabella 4.18 Test Univariati di Significatività per il diametro rispetto alle unità morfologiche esclusi i canali di morta.	167
Tabella 4.19 Test Univariati di Significatività per il volume dei tronchi rispetto alle unità morfologiche e alle zone.	168
Tabella 4.20 Test Univariati di Significatività per il volume dei tronchi rispetto alle unità morfologiche e alle zone esclusi canali e isole.	169
Tabella 4.21 Test Univariati di Significatività per il volume degli accumuli rispetto alle unità morfologiche e alle zone.	170

Tabella 4.22 Test Univariati di Significatività per il volume dei tronchi rispetto alle unità morfologiche e alle zone esclusi canali e isole.	171
Tabella 4.23 Matrice di correlazione di Spearman tra volumi di materiale legnoso e caratteristiche morfologiche. I valori in grassetto sono significativi al livello $p < 0.05$.	174
Tabella 4.24 Correlazione tra numero di elementi legnosi e caratteristiche morfologiche.	175
Tabella 4.25 Correlazione tra valori medi e massimi delle caratteristiche geometriche del materiale legnoso e caratteristiche morfologiche.	176
Tabella 4.26 Correlazione caratteristiche del materiale legnoso e caratteristiche morfologiche.	176
Tabella 4.27 Matrice di correlazione di Spearman tra le variabili morfologiche studiate.	178
Tabella 4.28 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume totale le variabili morfologiche.	178
Tabella 4.29 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume degli elementi singoli e le variabili morfologiche.	180
Tabella 4.30 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume degli accumuli e le variabili morfologiche.	181
Tabella 4.31 Significatività del modello di regressione multipla tra il numero degli accumuli e le variabili morfologiche.	182
Tabella 4.32 Significatività del modello di regressione multipla tra il numero degli accumuli caratterizzati da vegetazione e le variabili morfologiche.	183
Tabella 4.33 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume totale e la variabile Tronchi con radici e le variabili morfologiche.	183
Tabella 5-1 Quantità di materiale legnoso presente in corsi d'acqua di grandi dimensioni (per la conversione si è utilizzata una densità pari a 500 kg/m^3).	192

1 INTRODUZIONE

1.1 Generalità

Il materiale legnoso all'interno dei corsi d'acqua è diventato negli ultimi trent'anni elemento di studio da parte di diverse discipline. Alcune prime osservazioni erano già state compiute negli anni '60 (Hack e Goodlett 1960; Zimmerman et al., 1967), tuttavia solo recentemente il suo ruolo è diventato un importante oggetto di studio della dinamica fluviale.

In questo elaborato il termine materiale legnoso sarà riferito a tutti quegli elementi aventi dimensioni maggiori di 1 m di lunghezza e con diametro superiore ai 10 cm. Il termine più diffuso in letteratura per definire il materiale legnoso è *Large woody debris* tradotto in italiano come detrito legnoso; oltre a questo termine esiste una serie di acronimi creati in relazione allo specifico fenomeno studiato.

Durante la conferenza svoltasi in Oregon nel 2000 ("*First International Conference on Wood in World Rivers*") è risultato evidente sia l'importanza di adottare una terminologia condivisa, sia quanto l'uso della parola "detrito" (*debris*) nell'uso comune del termine abbia una connotazione negativa con conseguente mal interpretazione degli aspetti legati al fenomeno; questo specialmente per quelle discipline che vedono nel materiale legnoso un elemento essenziale per la funzionalità del sistema fluviale. A tal fine è stato proposto come termine, la parola "*wood*" per riferirsi appunto a tutti quegli elementi legnosi con dimensioni pari a quelle sopraccitate (Gregory et al., 2003a). Nel seguente elaborato ci si riferirà al soggetto discusso con il termine "**materiale legnoso**" e "**legname in alveo**" nell'intento di seguire tale direzione internazionale.

La quantità ed il tipo di legname che confluisce nell'alveo di un corso d'acqua dipende dalle caratteristiche dei boschi che lo alimentano (es. densità, età, stato fisiologico) e dai processi che introducono il legname all'interno dell'alveo. Quest'ultimi possono essere fattori biologici (piante attaccate da malattie fungine, insetti o castori) e non biologici (frane, colate detritiche, smottamenti, incendi, schianti dovuti al vento, neve e l'impatto antropico delle lavorazioni boschive) che in base alla loro azione e intensità, insieme alle caratteristiche del bacino e del fiume, sono gli elementi responsabili della quantità e delle caratteristiche (diametro, lunghezza, età e specie) del materiale legnoso immesso all'interno dell'alveo. Le variabili che portano alla produzione di materiale

legnoso in alveo possono essere distinte in parametri spaziali e/o temporali. Per quanto riguarda la componente spaziale, l'origine e la quantità di legname presente nel corso d'acqua variano in funzione dell'ordine del collettore. Nei torrenti di primo e secondo ordine la maggior parte del materiale proviene da fenomeni di instabilità dei versanti (frane) e da colate detritiche, mentre in fiumi di ordine superiore, il fattore primario di reclutamento degli alberi è l'erosione delle sponde che tende a far cadere all'interno del fiume alberi che prima erano stabili (Grant and Swanson 1995; Johnson et Al. 2000). In questo modo, nei collettori di primo e secondo ordine la quantità relativa di materiale legnoso in alveo è maggiore rispetto a quelli di ordine superiore e va ad influenzare in modo dominante la morfologia dell'alveo stesso (Keller e Swanson, 1979; Nakamura e Swanson, 1993). Secondo Ishikawa (1990), la maggior parte del sedimento e del legname in un bacino idrografico viene fornito da alvei con pendenze superiori al 15% e la portata del legname varia molto al variare del bacino idrografico ma generalmente è inferiore alle portate di sedimento.

Per quanto riguarda la scala temporale, l'origine del legname fluitato può essere suddivisa in tre categorie diverse (Pecorari, 2003):

1. lungo termine (nell'ordine di 100-200 anni);
2. medio termine (nell'ordine di 10-20 anni);
3. breve termine (nell'ordine di giorni).

Nella prima categoria (lungo termine) si possono annoverare fenomeni di mortalità naturale degli alberi dovuti a malattia, attacchi di insetti o senescenza, coadiuvati dall'effetto del vento, i quali provvedono al regolare approvvigionamento di materiale legnoso caratterizzato da una scansione temporale estesa. La frequenza con cui si verificano immissioni di tipo cronico, varia in funzione della tipologia e dal tipo di governo dei boschi che si trovano nei pressi del fiume.

La produzione di materiale legnoso a medio termine è tipicamente quella causata dal vento e dall'erosione delle sponde. Quest'ultima contribuisce in modo significativo al reclutamento del legname presente nell'alveo. Il tasso di erosione delle sponde ha grande influenza specialmente nei grandi fiumi. L'escursione termica e l'alternanza gelo-disgelo, tipica dei territori montani, acuisce lo scalzamento e la conseguente immissione di tronchi in alveo, soprattutto laddove il processo erosivo abbia già indebolito i terreni nei quali alloggia l'apparato radicale.

Nell'ultima categoria (breve termine) le cause dell'immissione di materiale sono legate ad eventi estremi, quali piene, colate detritiche, frane o anche incendi. Nel caso di piene eccezionali, zone non usualmente interessate dalla corrente sono invase dalle acque e profondamente segnate da fenomeni erosivi legati alle elevate tensioni tangenziali che si realizzano. Gli alberi che si trovano in tali aree vengono sradicati e trascinati dalla corrente nell'alveo principale.

Uno degli aspetti più considerati in merito all'importanza che assume il materiale legnoso è la sua funzionalità rispetto allo scambio di soluti, di sedimenti minerali e di materiale organico sia all'interno che all'esterno dell'ecosistema lotico. La formazione di grossi accumuli e ostruzioni permette la ritenzione di materiale organico e minerale consentendo la sopravvivenza di specifici habitat fluviali (Anderson e Sedell, 1979; Keller e Swanson, 1979; Bilby e Ward, 1989; Gurnell et al., 2002) e nelle zone ad esso adiacenti (Johnson et al., 2000). La sua influenza sull'idraulica e sulla geomorfologia dei corsi d'acqua può risultare molto complessa. Il materiale legnoso, a causa delle sue dimensioni, aumenta la scabrezza totale dell'alveo e, di conseguenza, la resistenza al flusso (Curran e Wohl, 2003); provoca fenomeni di separazione della corrente (Manga e Kirchner, 2000) deflettendo il flusso principale verso le sponde o verso l'alveo influenzando in tal modo i fenomeni di erosione localizzata (Daniels e Rhoads, 2003). La diversa quantità, la posizione e l'orientamento hanno effetti variabili sulle caratteristiche del flusso d'acqua modificandone il pelo libero (Gippel, et al, 1996). Nel caso di torrenti montani essi contribuiscono spesso alla formazione di pozze (*pool*) del tutto simili a quelle che si riscontrano usualmente nei corsi d'acqua naturali con morfologia a *riffle pool* ed a *step pool* (Montgomery e Buffington, 1997) che dissipano notevolmente l'energia del flusso. Nei fiumi di pianura il legname in alveo ha un forte impatto sulla forma e dinamica dei margini fluviali (Piégay, et al., 1998) e contribuisce alla formazione di barre ed isole all'interno del canale (Abbe e Montgomery, 1996; Gurnell e Petts, 2002). La sua interazione con il flusso varia a seconda della disposizione del detrito e del suo grado di congestione (isolato od aggregato) durante il trasporto (Braudrick et al., 1997; Johnson et al., 2000).

1.2 Rischi e benefici ambientali

La presenza del materiale legnoso nei sistemi fluviali è stata valutata fin'ora positivamente o negativamente a seconda della prospettiva di analisi. Le ostruzioni create dal legname portano ad un'intensificazione dell'accumulo di sedimenti organici e minerali all'interno dell'alveo (Anderson e Sedell, 1979; Sullivan, 1979; Thompson, 1994) e nei margini (Johnson et al., 2000) e la sua rimozione provoca erosione dei sedimenti, perdita di materia organica e incisione dell'alveo (Beschta, 1979; Gurnell e Sweet, 1998). Bisson et al., (1987), e Sedell et al., (1988) hanno evidenziato come la longevità e la stabilità del materiale legnoso ha una grande influenza sugli habitat fluviali mantenendone la diversità, indipendentemente dalla dimensione del fiume.

Il materiale legnoso ha una forte influenza sulla geomorfologia del sistema fluviale a diverse scale spaziali, contribuendo al riequilibrio dei corsi d'acqua in incisione, promuovendone l'accumulo di sedimenti e inducendo una certa mobilità planimetrica (Montgomery et al., 2003). Molti autori definiscono il materiale legnoso elemento strutturale del sistema fluviale in quanto modifica il trasporto e lo stoccaggio di sedimenti ed i processi di formazione della piana alluvionale. In alcuni casi il legname accelera i processi di taglio di meandro, in altri protegge le sponde in erosione limitando la migrazione laterale dell'alveo. In diversi corsi d'acqua che scorrono in zone boschive i salti creati dalla presenza di materiale legnoso (*log-steps*) rappresentano il maggior elemento di dissipazione di energia (Keller e Swanson, 1979) e controllano la interazione tra il flusso superficiale ed iporeico (White, 1990; Harvey e Bencala, 1993; Wondzell e Swanson, 1999).

In merito alla sua funzione ecologica, il materiale legnoso aumenta la diversificazione e la complessità degli habitat all'interno del sistema fluviale. Nel decomporsi, il materiale legnoso rappresenta energia per gli ecosistemi acquatici e terrestri (Wondzell e Bisson, 2003). La formazione di accumuli permette la ritenzione di materia organica poiché all'interno delle cavità presenti si intrappolano grandi quantità di detrito vegetale fine, foglie e sedimenti come anche carcasse di pesci morti. Questo consente dapprima la creazione delle condizioni necessarie alla nascita di organismi vegetali di cui

si nutrono insetti acquatici e invertebrati che costituiscono una parte della catena alimentare da cui dipendono numerose altre specie vertebrate (Steel et al., 2003).

Come anticipato, la presenza del materiale legnoso può comportare alcune conseguenze negative principalmente legate a condizioni di rischio idraulico. La presenza e soprattutto l'accumulo di materiale legnoso può incrementare tale rischio per occlusione di sezioni (ponti, infrastrutture) e conseguente rigurgito a monte. Il problema del rischio idraulico è tanto più evidente dato che la quantità maggiore di materiale legnoso viene trasportata proprio durante la fase critica del passaggio dell'onda ostruendo le sezioni in fase di colmo dell'evento (Betti et al.; 2006). Il rischio maggiore è connesso dunque a situazioni di esondazione durante le quali si possono creare gravi danni ad infrastrutture e strade o nel caso di accumulo eccessivo sui ponti che aumenta la spinta idrostatica sulla pila, o, in alcuni casi ostruisce la totale larghezza della luce portando, in situazioni estreme al collasso del ponte.

In diverse situazioni è stato osservato come la presenza di materiale legnoso abbia influito sui danni provocati in caso di alluvioni (figure 1.11 – 1.14).



Figura 1.1T. Tina (Bolzano): colata di detriti con legname di circa 500.000 m³ seppellisce parzialmente il villaggio di Chiusa (9/08/1921)

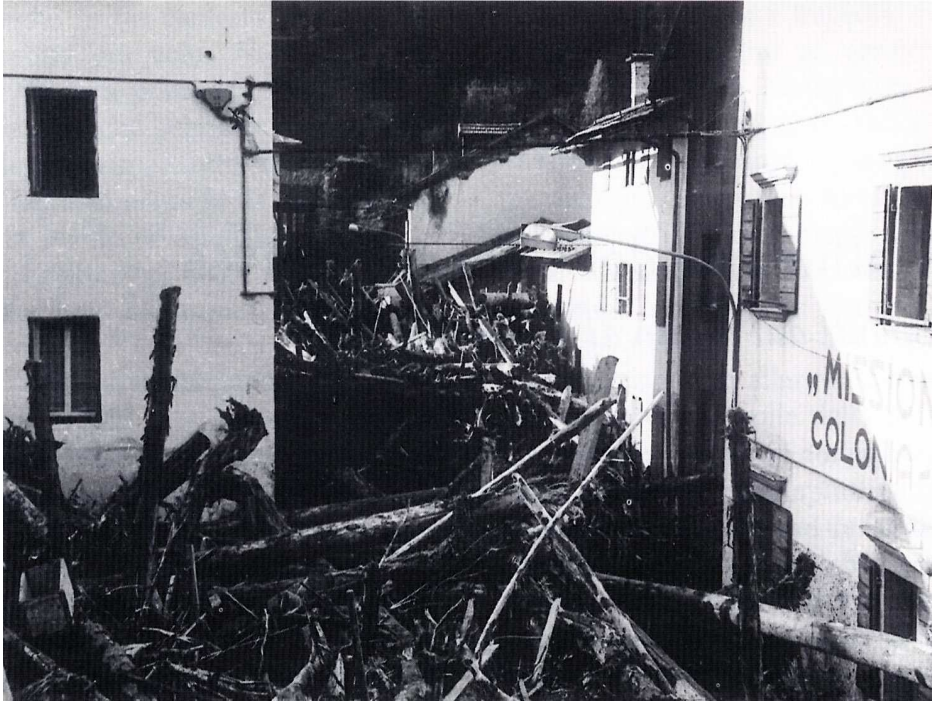


Figura 1.2 Accumulo di materiale legnoso formatosi in seguito alla piena del 4 Novembre 1966, Caprile (Belluno).



Figura 1.3 Rottura di argine causata dal trasporto di materiale legnoso nel Fiume Ombrone (Toscana, 1966), (Lezione_Rinaldi, 2006).



Figura 1.4 Materiale legnoso presente trasportato durante l'evento di piena del 18/09/2007 (Slovenija).

La scelta di strategie appropriate per la gestione delle foreste ripariali e, di conseguenza, del materiale legnoso negli alvei è tutt'ora elemento di discussione nell'ottica di non trascurare tutti gli aspetti considerati. Tuttavia la tendenza rimane ancora quella di eliminare il materiale legnoso in alveo nell'ottica di ridurre la pericolosità idraulica; questo atteggiamento non tiene conto, però, delle altre funzioni positive del materiale legnoso.

1.3 Caratteristiche fisiche del materiale legnoso

Lo studio delle caratteristiche fisiche del materiale legnoso presente nei corsi d'acqua è stato affrontato da diversi autori (Harmon et al., 1986; Thevenet et al., 1998; Gurnell et al., 2002) per comprendere alcuni processi in atto all'interno del corso d'acqua. La presenza di specie diverse, e di conseguenza di elementi legnosi con densità e forme diverse, fa sì che a parità di condizioni idrauliche il materiale abbia comportamenti diversi. Le caratteristiche fisiche e geometriche del materiale legnoso, infatti, influenzano la

probabilità di mobilitazione e quindi di trasporto o di cattura; sulla base di queste considerazioni Gurnell et al., (2002) individuano tre caratteristiche di particolare interesse: dimensioni, densità e forma.

Le dimensioni determinano la probabilità del materiale di essere trasportato o depositato e questo in relazione ad alcuni parametri geometrici dell'alveo. Secondo quanto sperimentato da Braudrick e Grant (2000, 2001), l'indice della possibilità di cattura del materiale legnoso da parte delle sponde risulta essere il rapporto tra la lunghezza del tronco e la larghezza del canale.

La densità è legata alla specie considerata, all'età del legno, al grado di acqua assorbita e al grado di decomposizione, controlla la possibilità di galleggiamento del legno e l'energia necessaria a mobilitare il tronco. La presenza di malattie influisce con conseguenti riduzioni di massa.

La specie influisce sulla mobilitazione del materiale legnoso, 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. Insieme alle specie va considerata dunque anche la forma che influisce sulla probabilità di un elemento di intrappolarsi o di essere trasportato. Un esempio evidente è quello delle conifere caratterizzate da una concentrazione di massa nel tronco per cui perdono facilmente i rami cadendo all'interno del corso d'acqua assumendo una forma pressoché cilindrica a differenza di altre specie dominate da una forma più pronunciata della chioma che funge da tampone durante l'impatto e che causa la formazione di strutture più complesse.

Un altro aspetto importante che non influisce sul trasporto iniziale ma che ha importanza in caso di accumulo e trattenuta del materiale per tempi lunghi è se il legno è ancora vitale o morto. Quando il legno è vivo infatti può rigettare causando la crescita di nuovi rami o radici avventizie con possibili formazioni di isole pioniere (Gurnell et al., 2001), come verrà spiegato in seguito.

La decomposizione del detrito legnoso è dovuta a diversi fattori che variano in relazione alla causa e al luogo di morte dell'albero da cui esso deriva. La dinamica all'interno dei corsi d'acqua è diversa rispetto a quella già ampiamente conosciuta della

decomposizione in ambiente terrestre. Il flusso dell'acqua accelera i processi attraverso il meccanismo di abrasione a cui è sottoposto il materiale legnoso, anche se i meccanismi biologici in atto vengono rallentati essendo ridotta la quantità di ossigeno. Harmon et al., (1986) individua diversi processi di decomposizione legati a fenomeni fisici, chimici e organici. L'importanza relativa dei processi varia in relazione alle caratteristiche del materiale legnoso e del sito in cui esso si trova. I fattori che controllano la decomposizione del materiale legnoso includono la temperatura, la materia organica, l'ossigeno, l'anidride carbonica, la qualità del substrato e gli organismi coinvolti (Harmon et al., 1986).

Nel caso di materiale legnoso all'interno di un corso d'acqua la diminuzione di massa e la conseguente variazione di densità sono spiegate dai seguenti fenomeni che sono quelli più significativi:

- *Dilavamento*: l'acqua percola attraverso il detrito dissolvendo alcuni elementi all'interno del legno. Questo è di minore importanza per i grandi elementi perché il detrito legnoso ha un'alta concentrazione di materiale polimerico e basse sostanze solubili e perché il rapporto superficie/volume è piccolo. Il fenomeno si accentua maggiore è la frammentazione degli elementi;
- *Frammentazione*: erosione della superficie legnosa a causa del fluire dell'acqua la frammentazione può essere di tipo fisico o biologico. Nel primo caso può essere dovuta alla gravità o all'effetto del flusso d'acqua e causa la formazione di una vasta casistica di tipologia di detrito da elementi molto grandi a particelle fine. All'interno dei corsi d'acqua la frammentazione risulta essere maggiore rispetto agli ambienti terrestri a causa dell'effetto abrasivo dovuto al trasporto dei pezzi. La frammentazione biologica è dovuta ad altre piante, ad animali, ma soprattutto agli invertebrati che masticando e scavando creano una polvere all'interno del tronco che decade molto più rapidamente.
- *Collasso*: con il procedere del processo di decomposizione il detrito legnoso non è più in grado di sopportare il proprio peso e collassa (Hartley, 1958; Toole, 1969) aumentando il grado di contatto tra legno e suolo rendendolo disponibile all'habitat dei vertebrati, invertebrati e microbi.

- *Respirazione*: principalmente dovuta ai microbi rimuove materia dal detrito legnoso. Negli ecosistemi terrestri i *basidiomiceti* sono i principali responsabili della maggior parte di perdita per respirazione (Käärik, 1974; Swift, 1977) ma negli ecosistemi acquatici, i batteri, tra cui gli *actinomiceti* sono più importanti (Crawford e Sutherland, 1979). Da ricerche effettuate la quantità di respirazione del materiale legnoso aumenta con il diminuire della densità.

1.3.1 Relazione tra le caratteristiche del materiale legnoso e i processi fluviali

Le caratteristiche fisiche e geometriche del materiale legnoso, come specificato in precedenza, influenzano la probabilità di mobilitazione e quindi di trasporto o di cattura. Le proprietà del materiale legnoso non influenzano il suo comportamento in termini assoluti, ma vanno considerate in relazione alle caratteristiche dell'alveo, quali dimensione e geomorfologia, e in relazione al regime di deflusso idrico e di trasporto solido.

A tal fine risulta utile un diagramma proposto da Gurnell et al. (2002) basato su esperienze di diversi autori, che cerca di esemplificare e schematizzare la relazione tra i vari fattori enunciati e la dimensione del corso d'acqua (fig. 1.5). Risulta evidente come cambia l'importanza dei vari fattori in relazione alla dimensione del corso d'acqua. Per piccoli corsi d'acqua il parametro significativo risulta essere la lunghezza del tronco in relazione alla larghezza del canale. In corsi d'acqua di media ampiezza la dimensione del materiale legnoso è importante quanto la complessità morfologica dato che la lunghezza dei tronchi può essere uguale o inferiore alla larghezza del canale e la combinazione di questi due fattori risulta critica per la stabilità del materiale legnoso all'interno del canale. Il trasporto del materiale è governato dal regime di flusso e dal grado di galleggiamento del legno e anche grandi tronchi risultano stabili solo una volta coperti di sedimento. Risulta dunque importante il trasporto di sedimenti. Quando la larghezza del canale risulta essere molto maggiore rispetto alla lunghezza dei tronchi altri fattori assumono importanza, come verrà descritto più dettagliatamente nei prossimi paragrafi.

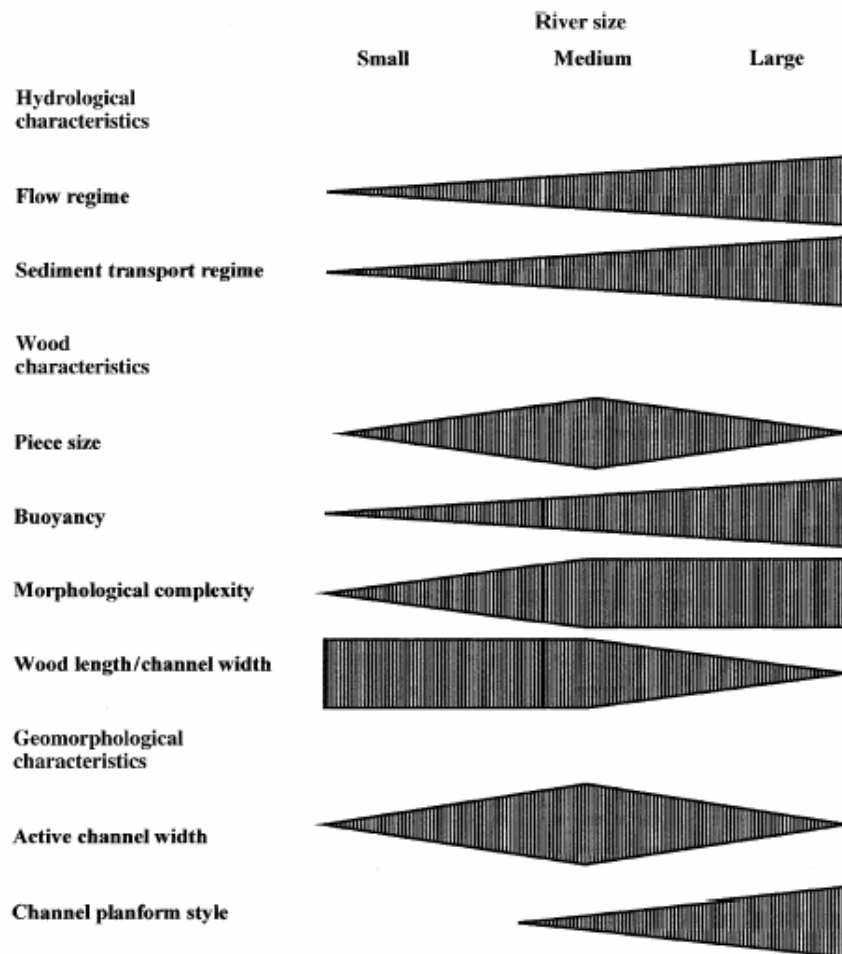


Figura 1.5 Relativa importanza di materiale legnoso, geomorfologia e caratteristiche idrologiche nell'influencare la trattenuta di materiale legnoso per corsi d'acqua di diversa grandezza (Gurnell et al. 2002).

1.3.2 Dinamica del legname in alveo e proprietà del legname

La fisica del trasporto del legno è diversa da quella del sedimento a causa delle differenze di forma, densità, di volumi mobilitati e delle modalità di rifornimento del materiale (Degetto, 2000).

Il trasporto di legname, così come per qualsiasi tipologia di materiale vegetale, può avvenire in diversi modi, come poi verrà esposto. La tipologia del moto è conseguenza del valore del tirante idrico e della densità relativa (ρ_r), intesa come rapporto tra la densità del legno (ρ_{log}) e la densità dell'acqua (ρ_w). Il peso specifico del legno, inteso come sostanza integra priva di pori, è di circa 14910 N/m^3 . Ciò significa che il legno è più pesante

dell'acqua (9810 N/m^3); ma esso galleggia sull'acqua perché tra le fibre sono presenti porosità contenenti aria. Di conseguenza, per quanto appena affermato, il legno ha un peso specifico effettivo minore di quello dell'acqua e variabile tra $3000 \div 9000 \text{ N/m}^3$ per cui galleggia sull'acqua finché il tirante idrico (e quindi la portata) si mantiene superiore ad una certa soglia per la flottazione. Ciò nonostante, il legno è un materiale ad elevata igroscopicità, intesa come capacità di assorbire umidità dall'atmosfera e dall'ambiente circostante e di trattenerla sotto forma di acqua liquida o di vapore d'acqua. L'igroscopicità è una proprietà importante dato che l'umidità trattenuta dal legno influenza molte proprietà tecnologiche del materiale. Il legname depositato in alveo, e non trasportato dalla corrente o lambito dall'acqua, è sempre esposto ad un'atmosfera ricca di vapore d'acqua e, quindi, continuamente assorbe o cede umidità attraverso la superficie. L'alternarsi delle escursioni termiche e dei tassi d'umidità provocano continui rigonfiamenti e ritiri dei tessuti legnosi che tendono, lentamente, a sfibrarsi e a fessurarsi anche sulla superficie esterna, provocando una notevole diminuzione delle proprietà meccaniche. La prolungata immersione del legname in acqua provoca la quasi totale saturazione delle cavità con conseguente diminuzione della resistenza meccanica, più marcata rispetto al caso precedente. Il legno saturo d'acqua non galleggia. Nel caso piuttosto frequente di un tronco bloccato trasversalmente sull'alveo poiché la sua lunghezza supera la larghezza del collettore, se il tirante non è sufficientemente elevato e le granulometrie d'alveo del torrente emergono dal pelo libero della corrente, si crea una situazione favorevole al bloccaggio non solo dei tronchi ma anche di tutto il materiale vegetale (fronde, rami, ceppaie). Come conseguenza di quanto appena detto (fronde, dilatazioni, sfibramento, fessurazioni), delle numerose micro e macro fratture riportate dal legno durante la caduta del tronco, dei carichi idrodinamici ripetuti e degli urti, la resistenza meccanica del legname diminuisce drasticamente. La spinta idrodinamica, di conseguenza, che agisce sui tronchi disposti trasversalmente è spesso, anche per piccoli eventi di piena, sufficiente a superare il limite elasto - plastico del legname e, quindi, in grado di rompere il tronco in pezzi più piccoli che verranno in seguito trasportati dalla corrente (Degetto, 2000).

1.3.2.1 Trasporto

Il trasporto di materiale legnoso, a seconda della sommergenza può avvenire in tre modi diversi:

- Per *trascinamento* o *rotolamento* al fondo: il materiale si sposta rotolando o strisciando sul fondo sospinto dalla corrente.
- In *sospensione* nelle acque della corrente, ovvero il materiale si muove immerso nell'acqua evitando contatti con il fondo e con il pelo libero.
- Per *fluitazione* e *galleggiamento* sulla superficie delle acque.

La tipologia del moto è conseguenza del tirante idrico e della densità relativa (ρ_r) intesa come rapporto tra la densità del legno (ρ_{log}) e quella del fluido (ρ) in cui è immerso. Da ciò deriva che il trasporto di materiale legnoso dipende dal tipo di evento che lo mobilita: deflusso esclusivamente liquido, trasporto solido ordinario, trasporto solido iperconcentrato e colate detritiche.

Si possono distinguere tre regimi di trasporto di tronchi, in funzione della loro densità nella sezione bagnata (Braudrick et al., 1997):

- *trasporto non congestionato (uncongested transport)*, quando si verificano raramente contatti tra elementi legnosi diversi durante il trasporto (i tronchi occupano meno del 10 % della superficie libera);
- *trasporto semi-congestionato (semi-congested transport)*, situazione intermedia (i tronchi occupano tra il 10 ed il 33 % della superficie libera);
- *trasporto congestionato (congested transport)*, quando i tronchi si muovono come una singola massa galleggiante, con contatti molto frequenti e pochi spazi tra di essi (i tronchi occupano più del 33 % della superficie libera).

1.3.2.2 Idrodinamica del moto per fluitazione.

Relativamente al moto di tronchi galleggianti, le uniche considerazioni che si possono trovare sono basate su osservazioni di laboratori sperimentali. Tra queste vi è la tendenza dei tronchi a seguire la linea di *thalweg* del fiume o che la distanza percorsa dal tronco durante il trasporto è inversamente proporzionale alla sua lunghezza (Diehl, 1997, Chang and Shen, 1979). La letteratura è carente di studi specifici sull'argomento e in particolare per quanto riguarda gli aspetti idraulici (Betti et al., 2006). In particolare sono state indagate analiticamente le condizioni idrodinamiche del moto incipiente dei detriti arborei in relazione alle forze di trascinamento (drag) e di sollevamento (lift) (Braudrick e Grant, 2000; Bocchiola et al., 2006). Altri autori si sono soffermati sul legame tra aumento dei livelli idrici e configurazioni geometriche del materiale legnoso come l'orientamento rispetto alla corrente, la profondità di immersione, l'area frontale di impatto e l'"effetto scia" dovuto alla presenza contemporanea di diverso materiale trasportato (sedimenti e legno) (Young, 1991; Gippel et al., 1996). In altri casi si è cercato di valutare l'aumento della scabrezza in presenza di materiale legnoso ricercando attraverso modelli fisici, relazioni tra il rapporto di ostruzione e il coefficiente di Darcy-Weisbach, indirettamente legato al coefficiente di drag (Shields e Gippel, 1995). Studi recenti (Braudrick et al., 1997; Braudrick e Grant, 2001) hanno affrontato le condizioni legate al trasporto di diverse quantità di materiale al variare delle configurazioni planimetriche dell'alveo, in particolari di alvei sinuosi e meandriiformi. Braudrick e Grant (2001) hanno sviluppato un modello semiquantitativo basato sulle caratteristiche geometriche dei tronchi e geomorfologiche dei corsi d'acqua. Partendo dall'osservazione di diversi casi reali individuano tre grandezze caratteristiche del canale (larghezza, tortuosità e profondità) e due caratteristiche del materiale trasportato dalla corrente (lunghezza e diametro) capaci di influenzare il deposito. Logicamente anche altre caratteristiche del tronco possono avere un'influenza non trascurabile, come la presenza di radici che può impedirne il moto. Braudrick e Grant (2001) ottengono dunque tre grandezze adimensionali che descrivano la probabilità del legname di essere mobilitato. Queste tre grandezze sono:

$$\frac{L_{\log}}{w_{av}} \quad \frac{L_{\log}}{R_c} \quad \frac{d_b}{d_{av}} \quad \text{Eq. 1.1}$$

in cui L_{log} è la larghezza del tronco, w_{av} è la larghezza del collettore, R_c è il raggio di curvatura medio del canale, d_b è la profondità di galleggiamento e d_{av} è la profondità media dell'alveo. La capacità di deposito o scabrezza del materiale legnoso viene assunta proporzionale alla seguente somma di rapporti Braudrick e Grant (2001):

$$DR \propto \left(a_1 \frac{L_{log}}{w_{av}} + a_2 \frac{L_{log}}{R_c} + a_3 \frac{d_b}{d_{av}} \right) \quad \text{Eq. 1.2}$$

in cui a_1 , a_2 e a_3 sono coefficienti che variano in funzione dell'importanza che assume la grandezza relativa.

Diversi studi si sono occupati di valutare le tensioni tangenziali causate dalla presenza di tronchi in alveo. Un esempio di come l'andamento delle tensioni tangenziali sia alterato dalla presenza di tronchi in alveo è fornito da Manga e Kichner (2000) i quali, trascurando gli altri effetti (tortuosità, forme di fondo, etc.), suggeriscono come il materiale legnoso influenza la partizione della tensione totale data da:

$$\tau_0 = \rho g R s \quad \text{Eq. 1.3}$$

in cui ρ è la densità dell'acqua, g è la gravità, R il raggio idraulico e s la pendenza della linea dell'energia. Secondo Einstein and Banks, (1950), imponendo un moto uniforme, la tensione totale può essere suddivisa secondo diverse componenti, ciascuna delle quali caratterizza un particolare elemento di scabrezza (Manga e Kirchner, 2000):

$$\tau_0 = \tau_{GS} + \tau_{BF} + \tau_{LWD} + \tau_{others} \quad \text{Eq. 1.4}$$

in cui τ_{GS} è la tensione effettiva che si riscontra sul letto in caso di trasporto di sedimenti, τ_{BF} è la componente dovuta alle forme di fondo, τ_{LWD} è la tensione dovuta al materiale legnoso.

Manga e Kirchner, effettuando delle misure in laboratorio, stimano l'influenza di quest'ultima componente sulla tensione tangenziale e, quindi, valutano il coefficiente di scabrezza C_D immergendo un oggetto in un flusso uniforme avente velocità media U . La forza per unità di area su questo oggetto sarà data dalla forza di drag:

$$\frac{F}{A} = \frac{1}{2} \rho C_D U^2 \quad \text{Eq. 1.5}$$

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 è il coefficiente di resistenza idrodinamica che può dipendere da diversi fattori (numero di Reynolds, numero di Froude, forma dell'oggetto e orientazione dell' oggetto). Il valore di C_D è stato studiato in diversi casi: tipi diversi di vegetazione, forme di fondo e per particelle di diverse dimensioni, ma rimane tutt'ora oggetto di studio e di diversi esperimenti.

1.3.2.1 Tipologie e disposizione del materiale legnoso in alveo

Il legname può essere presente dentro l'alveo sia come elemento singolo (*log*) sia come accumulo (*log jam*). Comunemente, il tronco singolo che si deposita in alveo o lungo le sponde e tende a disporsi secondo la direzione del flusso della corrente. Se il tronco possiede ancora l'apparato radicale allora le radici tendono a disporsi verso monte. Questo deriva dal fatto che un tronco in fluitazione si dispone secondo tale orientamento.

In merito al deposito del materiale si distinguono quattro principali meccanismi di arresto del singolo tronco: intercettato da vegetazione viva, da un accumulo legnoso preesistente, da clasti di grandi dimensioni che sporgono rispetto al fondo; intercettato con accerchiamento di ostacolo (tipicamente nel caso di ponti o anche di alberi vivi); depositato per sormonto di una superficie (ad esempio per tracimazione nella pianura inondabile) o arenato durante la fase calante della piena, o in zone dove si verificano brusche variazioni dell'energia della corrente (ad esempio per allargamento dell'alveo, oppure in bracci morti, o in corrispondenza di vortici, ecc.). Gurnell et al. (2002) individuano diversi fattori di controllo della dinamica del materiale legnoso sulla base delle dimensioni dell' alveo. Nei corsi d'acqua di piccole dimensioni gli elementi legnosi sono in genere vicini al punto di alimentazione e gli accumuli esercitano forte controllo su idraulica e morfologia dell'alveo; nei corsi d'acqua di medie dimensioni la lunghezza e la forma degli elementi legnosi sono fattori critici per la stabilità dell'accumulo che risulta legato alla presenza di grossi elementi primari; nei corsi d'acqua di grandi dimensioni, infine, i depositi legnosi sono situati in posizioni relativamente prevedibili che variano a seconda della configurazione planimetrica e morfologia dell'alveo.

Le caratteristiche del legname e quelle del collettore sembrano essere, dunque, le principali responsabili della frequenza e della tipologia degli accumuli. Lunghezza e diametro dei tronchi relazionati con larghezza e tirante del corso d'acqua e la presenza dei cosiddetti "pezzi chiave" (*key pieces*) sono i fattori che determinano la tipologia degli accumuli legnosi in alveo.

I modelli strutturali di aggregazione degli accumuli variano sistematicamente al variare della dimensione del corso d'acqua (Nakamura e Swanson, 1994) e spesso l'accumulo di legname in collettori di primo e secondo ordine appare caotico o addirittura casuale. In alvei più larghi di ordine superiore, dove il materiale legnoso è maggiormente mobile, gli accumuli diventano più organizzati e possono essere classificati secondo diverse tipologie (Abbe e Montgomery, 1996, 2003; Wallerstein et al., 1997).

Wallerstein et al. (1997), facendo riferimento ad osservazioni effettuate lungo alvei fluviali in incisione del Mississippi, distingue quattro principali tipologie di accumulo (ordinate per area del bacino crescente), rapportando la dimensione dell'elemento chiave rispetto alla larghezza dell'alveo ed evidenziandone i principali impatti sulla morfologia dell'alveo:

- *Underflow jam*: (accumulo con flusso sottostante o sifonamento). Impatti: limitata erosione fondo e sponde; sedimentazione (fig. 1.6 a).
- *Dam jam*: (accumulo di sbarramento). Impatti: formazione *log-steps* e pozze (*pools*); Formazione cuneo di sedimenti a monte e scavo a valle (fig. 1.6 b).
- *Deflector jam*: (accumulo a deflettore). Impatti: deviazione corrente, erosione fondo e erosione sponda; locale allargamento e sviluppo barra (fig. 1.7 a).
- *Parallel/bar head jam*: (accumulo parallelo o di testa di barra). Impatti: protezione piede sponda, specialmente in curva; crescita accelerata barre incipienti (fig. 1.7 b).

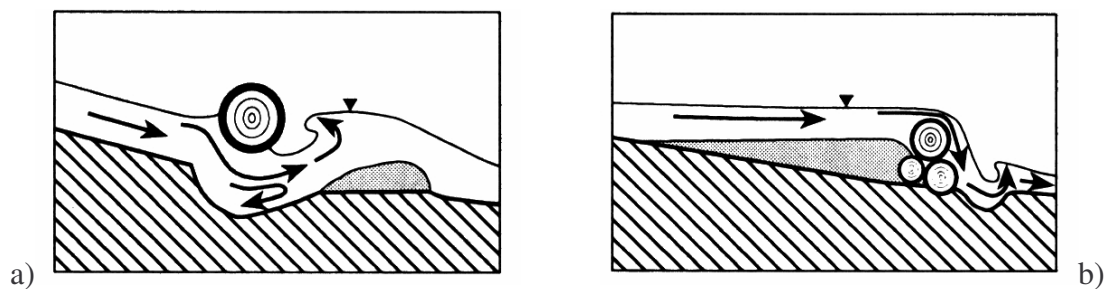


Figura 1.6 Tipologie di accumulo: a) underflow jam; b) parallel/bar head jam (Wallerstein et al., 1997).

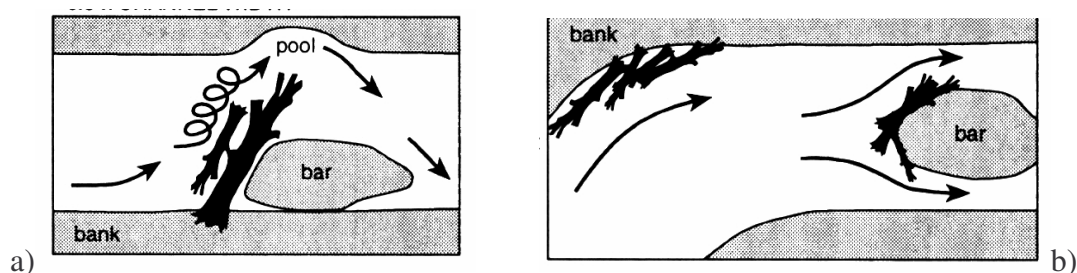


Figura 1.7 Tipologie di accumulo: a) deflector jam; b) dam jam (Wallerstein et al., 1997).

Abbe & Montgomery (2003), in seguito ad uno studio nel Queets River (Olympic Peninsula, Washington State, individuano tre tipologie di elementi legnosi sulla base della loro funzione nell'accumulo: **elementi chiave** o **primari** (*key members*): tronchi che, per dimensioni e conformazione, originano l'accumulo; **elementi non primari** (*racked members*): elementi che si sono accumulati contro un ostacolo (ad es. un masso, un elemento chiave o un altro accumulo) che non hanno originato l'accumulo, ma che, tuttavia, conferiscono volume all'accumulo; **elementi sciolti** (*loose members*): elementi minori che tendono ad occupare gli interstizi dell'accumulo. Abbe & Montgomery (2003) definiscono poi tre grandi categorie di accumuli suddivisi secondo l'origine degli elementi chiave dell'accumulo. Ogni categoria viene poi suddivisa in base alla posizione all'interno dell'alveo:

A. In sito o autoctoni (*autochthonous*): Elementi chiave (key members) che non hanno subito trasporto:

- **Bank inputs:** elementi presenti nel sito stesso della loro immissione in alveo (per erosione di sponda, movimenti di massa, vento, ecc.)
- **Log steps:** elementi chiave che formano un gradino sul fondo dell'alveo

B. Combinati (*combination*): Elementi chiave in sito con altri di tipo *racked* e *loose* pervenuti da monte in seguito a trasporto:

- **Valley jams:** detriti (spesso alberi caduti) con larghezza maggiore di quella dell'alveo
- **Flow deflection jams:** elementi chiave e altri detriti che deviano la corrente verso sponda opposta

C. Trasportati o alloctoni (*allochthonous*): Elementi chiave che hanno subito un qualche trasporto verso valle e che possono aver poi catturato elementi *racked* e *loose*:

- **Debris flow/flood jams:** detriti legnosi incorporati in colate detritiche innescate da frane e depositi su piana alluvionale associati ad eveneti di poena intensi
- **Bench jams:** uno o più elementi chiave orientati parallelamente o obliquamente rispetto alla corrente che portano alla formazione di piccole superfici adiacenti alla piana inondabile
- **Bar apex jams:** si formano all'estremità verso monte di barre longitudinali
- **Meander jams:** varietà di accumuli che tipicamente si formano lungo le sponde esterne di meandri
- **Log rafts:** accumuli galleggianti che nel passato si estendevano per decine di chilometri lungo i grandi fiumi di pianura
- **Unstable debris jam:** bar top, bank edge, bank-revetment jams: grandi quantità di detriti mobili depositati lungo le sponde o su barre durante fase calante di piene

1.3.3 Metodologie di studio e modellistica

Gli studi effettuati hanno rilevato l'importanza di effettuare una quantificazione del materiale legnoso presente in alveo in relazione alla sua provenienza, alla sua distribuzione e trasporto all'interno del canale ed alla sua decomposizione.

La maggior parte degli studi effettuati si sono basati sull'osservazione di campo e la misurazione diretta dei volumi degli elementi presenti in un certo momento (Ishikawa, 1990; Uchiogi et al. 1996; Rickenmann, 1997; Comiti, 2006; Andreoli, 2007) nell'ipotesi di fare un bilancio di massa all'interno di un dato volume di controllo del fiume date che siano le portate legnose in entrata e in uscita (Benda et al., (2003).

$$\Delta S = [I\Delta x - L\Delta x + (Q_i - Q_o) - D]\Delta t \quad \text{Eq. 1.6}$$

Più recente è, invece, l'utilizzo di foto aeree e sequenze di foto aeree storiche al fine di valutare l'evoluzione morfologica del corso d'acqua considerato e l'effetto del materiale legnoso su di esse (Lassette et al. 2007).

Un ulteriore campo di ricerca riguarda i modelli per la previsione della dinamica della quantità di legname a lungo termine. Negli ultimi vent'anni sono stati sviluppati 14 modelli diversi descriventi la dinamica di materiale legnoso nei corsi d'acqua, ognuno finalizzato a scopi diversi e utilizzato per descrivere processi diversi in differenti aree di studio (Rainville et al., 1986; Murphy e Koski, 1989; Van Sickle e Gregory, 1990; McDade et al., 1990; Malanson e Kupfer, 1993; Minor, 1997; Benda e Sias, 1998; Kennard et al., 1998; Beechie et al., 2000; Bragg, 2000; Downs e Simon, 2001; Fleece, 2002; Meleason et al., 2003; Welty et al., 2002; Benda e Sias 2003). Qui di seguito verrà discussa la storia dello sviluppo dei modelli relativi alla dinamica del materiale legnoso e verranno discusse le caratteristiche generali di ognuno di essi. Tra tutti i modelli sviluppati per torrenti e fiumi, 11 sono stati sviluppati nella zona nord ovest dell'America settentrionale ((Rainville et al., 1986; Murphy e Koski, 1989; Van Sickle e Gregory, 1990; McDade et al., 1990; Minor, 1997; Kennard et al., 1998; Bragg, 2000; Beechie et al., 2000; Fleece, 2002; Meleason et al., 2003.; Welty et al., 2002; Benda e Sias, 2003); due per le regioni del Midwest in Nord America (Malanson e Kupfer, 1993; Downs e Simon, 2001) e uno per la

regione delle Rocky Mountains (sempre del Nord America (Bragg, 2000). La forte concentrazione di tali studi nelle regioni del cosiddetto Pacific Northwest riflette la lunga storia di ricerca che le caratterizza rispetto ad altre zone nel mondo. Murphy and Koski (1989) approssimano il tasso di entrata e di diminuzione misurando la quantità e l'età dei tronchi in piedi e assumendo che il volume legnoso sia stazionario (ovvero quantità in entrata uguale alla quantità in uscita). Modelli più recenti cercano di descrivere la dinamica del legname integrando processi di entrata, ritenzione, decomposizione e redistribuzione per lunghi periodi di tempo o per grandi porzioni di bacino (Kennard et al., 1999; Beechie et al., 2000; Bragg, 2000; Downs e Simon, 2001; Meleason et al., 2002; Welty et al., 2002; Benda e Sias, 2003) (Tabella 1.1). La maggior parte dei modelli sono deterministici e producono una singola stima della quantità di legname prodotto senza valutare la varianza. Effetti di disturbo sono simulati basandosi su scenari fissi di eventi a lunga durata. Altri modelli sono stocastici e sono basati sulla probabilità che determinati eventi accadano e sul tasso di tali processi. Questi modelli stocastici consentono l'analisi sia della media ovvero della tendenza principale, sia dell'influenza di fattori stocastici sulla varianza nella dinamica del detrito legnoso. Anche le proiezioni delle dinamiche del legname e le variazioni spaziali e temporali dai modelli statistici sono limitate dalla scelta della funzione distribuzione di probabilità (ad esempio normale, lognormale, esponenziale, binomiale). Tutti i modelli di dinamica del materiale legnoso nei corsi d'acqua rappresentano la foresta ripariale adiacente e la distribuzione del legname nel canale. Alcuni modelli mantengono una composizione ripariale fissa e una distribuzione di una proporzione fissa di quantità di legname nel tempo. Questi modelli sono chiaramente semplicistiche rappresentazioni delle foreste ripariali e in alcuni casi sono esterni al modello principale, in altri sono inclusi come uno dei principali componenti. Tra questi si ricorda: ORGANON (Hester et al., 1989), Forest vegetation simulator (Wykoff et al., 1982), ZELIG (Shugart and West, 1977) e versioni del forest gap models (Botkin, 1993).

Tabella 1.1 Modelli di simulazione dinamica del legno (Rinaldi, 2007, ripresa da Gregory, 2003).

Autori	Tipo di modello	Descrizione	Scala temporale	Processi simulati	Regione
Rainville et al. (1986)	deterministico	Input di legno nel corso d'acqua in base a condizioni foresta ripariale	300 anni	Crescita foresta, crescita alberi, mortalità per caduta,	Idaho (USA)
Murphy & Kosky (1989)	deterministico	Ingresso, decomposizione ed uscita di legno da un corso d'acqua	Crescita pregressa	Mortalità per caduta, movimento in alveo, decomposizione	SE Alaska (USA)
McDade et al. (1990)	deterministico	Alimentazione di legno e distanza in corsi d'acqua e distanza dal punto di ingresso	n.d.	Mortalità per caduta	Pacific North West (USA)
Van Sickle & Gregory (1990)	deterministico	Alimentazione di legno in corsi d'acqua da foresta ripariale adiacente	Crescita pregressa	Mortalità per caduta, movimento in alveo	Pacific North West (USA)
Malanson & Kupfer (1993)	stocastico	Alimentazione di legno in fiumi di grandi dimensioni	500	Nascita nuovi alberi, crescita alberi, mortalità per caduta ed erosione di sponda, decomposizione	Fiume Iowa (USA)
Minor (1997)	deterministico	Alimentazione di legno da zona ripariale in un tratto di corso d'acqua	Crescita pregressa	Mortalità per caduta	Pacific North West (USA)
Beechie et al. (2000)	deterministico	Effetti di disboscamenti su alimentazione di legno dalla zona ripariale	150	Crescita e produzione foresta, nascita nuovi alberi, mortalità per caduta, movimento in alveo, decomposizione	Pacific North West (USA)
Bragg (2000)	stocastico	Ingresso, accumulo e decomposizione di legno in corsi d'acqua	300	Crescita e produzione foresta, nascita nuovi alberi, mortalità per caduta, mortalità catastrofica, frammentazione in alveo, movimento in alveo, decomposizione	Montagne Rocciose (USA)
Downs & Simon (2001)	deterministico	Alimentazione di legno in corsi d'acqua per erosione di sponda		Mortalità per erosione di sponda	Mississippi e Midwest (USA)
Benda & Sias (1998, 2003)	deterministico	Ingresso potenziale e trasporto di legno in corsi d'acqua che include trane su versanti	800-1.800	Alimentazione da movimenti di massa, erosione di sponda, vento, mortalità, movimento in alveo, decomposizione	Pacific North West (USA)
Meleason et al. (2003) (STREAMWOOD model)	stocastico	Dinamica del legno (ingresso, accumulo e trasporto) in corsi d'acqua	500	Nascita nuovi alberi, crescita foresta, frammentazione in alveo, movimento in alveo, decomposizione	Pacific North West (USA)
Welly et al. (2002)	deterministico	Produzione legno ed ombreggiamento in zone ripariali	240	Crescita e produzione foresta, nascita nuovi alberi, crescita alberi, mortalità per caduta, movimento in alveo,	Pacific North West (USA)

L'aspetto di trasporto (Gregory et al, 2003b), è stato trattato solo per piccoli bacini montani (Streamwood model) inoltre pochi modelli (Downs e Simon, 2001) considerano altri processi di alimentazione tipici dei grandi fiumi quali l'erosione. Il trasporto di materiale legnoso all'interno del corso d'acqua risulta tutt'ora un elemento di ricerca da parte di molti autori (Ng Yau loong e Richardson, 2001; Braudrick and Grant 2001) e spesso riguarda la creazione di modelli fisici per lo studio dell'impatto del materiale legnoso sulle opere (Ishikawa, 1990; D'Agostino et al.1999). Data la difficoltà di valutare quanto e come il legname viene trasportato durante fenomeni di piena, l'approccio più seguito, infine, è quello di misurare post-evento gli accumuli presenti in alveo. Allo scopo, Betti et al. (2006) hanno proposto in via preliminare delle schede di rilevamento che raccolgono informazioni riguardanti quantità e dimensioni del materiale trasportato, unitamente agli aspetti morfologici ed idrodinamici degli accumuli legnosi.

Una forma di quantificazione e di previsione del materiale prodotto e trasportato è quella riportata da Benda et al., (2003) il quale considerato un certo volume di controllo imposta un'equazione di bilancio del materiale legnoso, diversificando e quantificando il contributo di ogni singolo processo coinvolto.

1.4 Il materiale legnoso in corsi d'acqua a canali intrecciati

La maggior parte delle ricerche condotte sul legname in alveo si è focalizzata su torrenti montani in aree caratterizzate da foreste molto antiche. Fiumi di maggiori dimensioni hanno ricevuto fino ad ora minore attenzione (Piégay, 2003) a causa dell'idea diffusa che il materiale legnoso non influenzi particolarmente questa tipologia di sistemi a differenza dei piccoli bacini montani che risultano essere più facilmente misurabili; infine, prevale ancora molto l'idea che l'utilizzo sociale del fiume è così importante economicamente e culturalmente che le funzioni naturali del legno sono irrilevanti in questi grandi sistemi. Keller e Swanson (1979) hanno riscontrato che l'ammontare del materiale legnoso era trascurabile per un fiume del sesto ordine (McKenzie River, Oregon) rispetto alla quantità presente nei piccoli bacini. Successivi studi, tuttavia, effettuati in Australia, sulla costa est degli Stati Uniti, in Francia ed in Italia hanno dimostrato che la dinamica e la corretta gestione del materiale legnoso in grandi fiumi è fondamentale (Gippel et al., 1996; Downs e Simon, 2001; Gurnell et al., 2002; Piégay, 2003).

I processi legati alla presenza di materiale legnoso in grandi corsi d'acqua sono molto complessi in quanto non dipendono solo da fattori locali bensì sono condizionati da quanto avviene a monte.

Diversi autori hanno notato che il parametro $Sr = l_t/w$ è una variabile importante nel determinare l'ammontare di materiale legnoso in alveo (Swanson et al., 1984; Heede, 1985) dove l_t è la lunghezza del tronco e w la lunghezza dell'alveo. Lungo un torrente montano del sud-est dell'Alaska, gli stessi autori hanno notato che pezzi di materiale legnoso di lunghezza inferiore a 0.5 volte la larghezza di *bankfull* tendevano ad essere trasportati verso valle durante eventi di piena. Dove il rapporto è superiore a uno, il materiale legnoso è piuttosto stabile e influenza la velocità del flusso, la geometria dell'alveo e la tipologia di sedimentazione. Quando il rapporto scende ad un valore inferiore a uno e il materiale diventa più mobile gli effetti fisici si trasmettono a valle (Piégay e Marston, 1998; Piégay, 1999).

Nei grandi fiumi il trasporto del materiale legnoso è influenzato in maniera minore dalla larghezza del canale e gli accumuli che si formano hanno un minor effetto sulle piene, specialmente nei fiumi di pianura (Gurnell et al., 1994). Il rapporto Sr tra la lunghezza del tronco più grande e la larghezza del canale risulta essere variabile tra 0.05 e 2 rispetto ai torrenti montani dove si riscontrano valori principalmente tra 15 e 30 (tab. 1.2). Dare delle definizioni generiche risulta dunque difficile proprio a causa delle molte diversità fra i corsi d'acqua e soprattutto per la differente influenza antropica che ogni bacino ha subito. I processi dunque che caratterizzano il materiale legnoso nei grandi corsi d'acqua sarà dunque diverso in relazione alle caratteristiche climatiche e vegetazionali del bacino ed alla gestione delle zone ripariali.

In quest'ottica, risulta importante capire storicamente come è cambiata la funzione del fiume all'interno del territorio circostante.

Storicamente i grandi fiumi delle regioni temperate apparivano come oggi; sono alcuni corsi d'acqua del Pacific Northwest, ancora non intaccati dalla gestione antropica. Come descritto da Triska (1984) per il Red River in Louisiana e da Sedell e Frogatt (1984) per il Willamette River in Oregon, i fiumi del Nord America erano pieni di materiale legnoso prima degli insediamenti Europei e alcuni tratti erano totalmente bloccati da accumuli stabili di legname. Di conseguenza, la scabrezza d'alveo era nettamente maggiore con conseguenze sulla morfologia e la geometria del fiume, per cui vi era anche

una maggiore connessione tra corso d’acqua e piana alluvionale. Questo chiaramente con forti ripercussioni anche sugli habitat che si potevano formare. Ad esempio il Red River (Louisiana) è stato caratterizzato per quasi 400 anni dal fenomeno della cosiddetta “great raft”, ovvero una serie di accumuli di legname di lunghezza pari a 390-480 km causati dalla congestione del trasporto. I grandi corsi d’acqua attualmente sono caratterizzati da bacini fortemente antropizzati e gestiti per scopi agricoli, industriali e residenziali, con conseguente riduzione della produzione e della dimensione del materiale legnoso che non può comportare gli stessi effetti riscontrabili in corsi d’acqua naturali (Piégay, 2003).

Tabella 1.2 Caratteristiche generali di diversi corsi d’acqua di grandi dimensioni (Piégay, 2003).

	Channel slope m/km	Channel width (m)	Basin area (km ²)	Dominant riparian species	Size ratio S _r	Reference
Lookout Creek, Oregon	30	24	61	Old-growth forest (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	2.5	Keller and Swanson 1979
Queets River, Washington	1-20	30-83	1,164	Old-growth forest (<i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Tsuga heterophylla</i>)	2.3-1.2	Abbe and Montgomery 1996
MacKenzie River, Oregon	6	40	1,024	Old-growth forest (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	1.5	Keller and Swanson 1979
Willamette River, Oregon	0.9	108	29,138	<i>Populus trichocarpa</i> , <i>Fraxinus oregana</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.20	Sedell and Frogatt 1984
Ain River, France	1.3	100-150	3,640	<i>Populus nigra</i> , <i>Fraxinus excelsior</i>	0.1-0.15	Piégay and Marston 1998
Drôme River, France	3-8	150-200	1,620	<i>Populus nigra</i> , <i>Fraxinus excelsior</i>	0.07-0.10	Piégay et al. 1999
Tagliamento River, Italy	1-3	300-800	2,500	<i>Alnus incana</i> , <i>Populus nigra</i>	0.01-0.07	Gurnell et al. 2000a
South Fork Obion River, Tennessee	Lowland river	18-23	927	<i>Acer negundo</i> , <i>Betula nigra</i>	1.7-2	Shields and Smith 1992
Mallar Creek, North Carolina	1	12		Hardwood species	1-1.25	Keller and Swanson 1979
Ogeechee River, Georgia	0.2	33	7,000	<i>Taxodium distichum</i> , <i>Quercus nigra</i> , <i>Liquidambar</i> spp.	1-1.1 1-1.1	Wallace and Benke 1984
Thomson River, Australia	0.028	48	3,540	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.8-1	Gippel et al. 1996
Red River, Louisiana	Lowland river	215-365	236,000	<i>Populus</i> spp., <i>Quercus</i> spp.	0.05-0.1	Triska 1984

Questa tendenza tuttavia ha subito un’inversione per diversi fiumi europei a seguito dell’espansione delle foreste dopo la seconda guerra mondiale. Studi dendrocronologici hanno dimostrato che diversi alberi delle zone ripariale si sono stabilizzati dopo il 1945 e, quindi, in seguito ai cambiamenti nelle pratiche agricole (Liébault e Piégay, 2001). Prima del 1945 si potevano riscontrare solo stadi pionieristici delle zone ripariali caratterizzate principalmente da alberi isolati per il fatto che quella zona era adibito al pascolo e al recupero di materiale legnoso come legna da ardere o per costruire utensili. In seguito con la modernizzazione dell’agricoltura queste aree sono state abbandonate e gradualmente

ricoperte nuovamente da foreste con conseguente aumento della produzione legnosa in alveo.

I processi che caratterizzano il materiale legnoso in alveo nei grandi corsi d'acqua variano in relazione alla vegetazione presente nelle zone ripariali (specie, dimensioni) e alle caratteristiche del corso d'acqua (pendenza, regime idrologico, morfologia), attività antropica in alveo e sulla piana alluvionale. (rimozione della vegetazione, stabilizzazione del fondo ed estrazione di inerti).

1.4.1 Produzione del materiale legnoso e mobilità all'interno del "river continuum"

I bacini dei grandi corsi d'acqua differiscono molto per le caratteristiche della piana alluvionale, densità della popolazione e quantità di materiale rilasciato all'interno del canale. Le relazioni esistenti tra i vari fattori che controllano i meccanismi di alimentazione e trasporto del materiale legnoso nei corsi d'acqua sono molto complessi come risulta evidente dal grafico in figura 1.8 in cui Piégay, (2003) ha cercato di riportare le varie connessioni in una forma schematica.

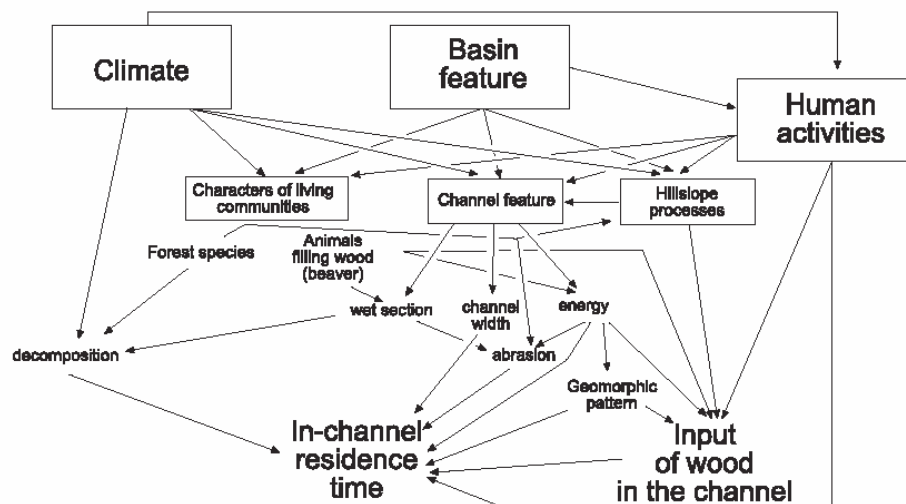


Figura 1.8 Modello concettuale dei fattori controllanti la produzione di materiale legnoso e il tempo di residenza per grandi corsi d'acqua (Piégay, 2003).

Tra i processi che caratterizzano la produzione di materiale legnoso nei corsi d'acqua di grandi dimensioni, l'erosione di sponda rappresenta la più significativa. Come già anticipato i processi di alimentazione variano in relazione alla tipologia di corso d'acqua considerato. Nell'ottica di "river continuum", dunque, si noterà una variazione nella dimensione del materiale presente, del tempo di residenza e del volume di alimentazione in relazione alla dimensione del canale e delle caratteristiche geomorfologiche (fig. 1.9). Piégay (2003) riporta un modello basato sulle ricerche fin'ora condotte che sintetizza queste variazioni.

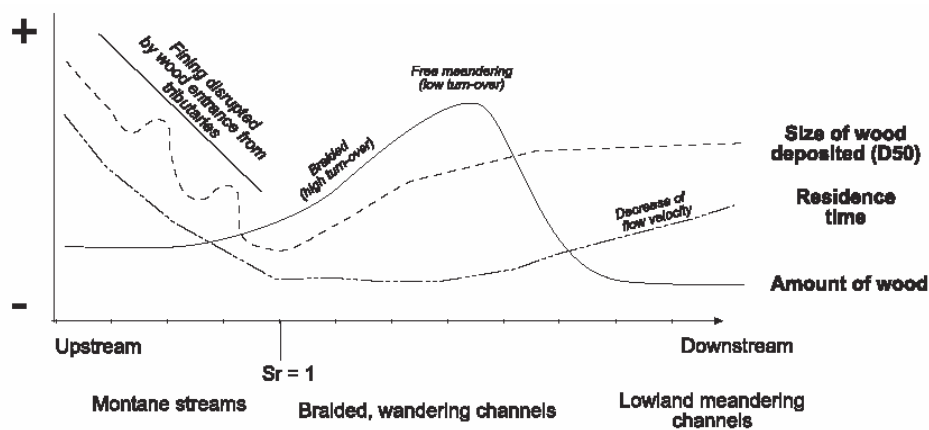


Figura 1.9 Cambiamenti stimati del volume prodotto, tempo di residenza e dimensioni medie del materiale legnoso per tratti da monte a valle di un corso d'acqua generico (Piégay, 2003).

Risulta evidente che nei torrenti montani in cui il rapporto Sr tra la lunghezza del tronco di dimensioni maggiori e la larghezza del canale, è superiore a 1, il materiale legnoso tende ad essere stabile con tempi di residenza lunghi. Anche la produzione di materiale e le sue dimensioni sono alte in questi tratti relativamente alle caratteristiche che si riscontrano nei versanti montani. Scendendo verso valle il canale si allarga e il materiale legnoso presente viene rotto durante il trasporto o rimane intrappolato durante il percorso. Per contrapposizione in corrispondenza dei tributari si riscontrano una grossa quantità di materiale. In zona valliva e pedemontana si aggiunge il fenomeno dell'erosione di sponda che contribuisce ad aumentare la quantità di legname presente che facilmente viene

trasportato verso valle proprio in relazione al diminuire del rapporto S_r che risulta inferiore a 1. Questo contributo locale alla quantità di materiale presente è significativo e aumenta man mano che la configurazione del fiume passa da andamento a canali intrecciati verso una configurazione di tipo meandriforme. Nel caso di fiumi di pianura la velocità e l'erosione di sponda si riducono con conseguente decrescita di alimentazione del detrito e quindi della quantità di volume totale. La dimensione media in questi tratti è moderatamente grande poiché i tronchi presenti provengono da alberi maturi stabilizzati lungo la parte marginale delle sponde.

La configurazione morfologica, che è principalmente un prodotto del regime di flusso e del regime di trasporto dei sedimenti, è, dunque, un importante elemento di controllo della quantità di materiale legnoso prodotto e accumulato. Gurnell et al., (2002) dall'analisi di rilievi effettuati in diversi bacini confermano l'ipotesi per cui la quantità maggiore di produzione avviene per corsi d'acqua pedemontani di tipo meandriforme, dove il fenomeno di erosione di sponda è elevato e il cambio vegetazionale è piuttosto lento in relazione ai fiumi a canali intrecciati. Questo è il caso del Fiume Ain (meandriforme e pedemontano) in rapporto al Fiume Drôme (a canali intrecciati). La distinzione è legata al processo di erosione che risulta più accentuato in zone pedemontane.

Oltre alla produzione per erosione di sponda, il materiale legnoso presente in lavello può provenire tramite galleggiamento da sorgenti molto distanti quali corsi d'acqua tributari o tramite processi quali frane e valanghe avvenute a monte. Questi processi assieme formano una sequenza complessa di disturbo nel tempo e nello spazio (Nakamura et al., 2000) che non solo portano, accumulano e mobilizzano materiale legnoso e sedimenti all'interno del sistema fluviale, ma anche creano un "instabile mosaico di zone di disturbo (Nakamura et al., 2000).

La geomorfologia del sistema fluviale, intesa nella forma e processi, favorisce alcuni fenomeni e ne sopprime altri e la variazione spaziale dei processi principali risulta fondamentale (Martin e Benda, 2001).

La dinamica del materiale legnoso nei grandi fiumi varia in relazione alla geometria del canale (dimensioni e morfologia) che controlla come già detto la produzione ma anche la mobilità la rottura e il volume del materiale legnoso presente. La maggior parte del materiale legnoso è introdotto dalle zone ripariali tramite erosione di sponde o a causa di fenomeni meteorologici quali neve, vento e tempeste, mentre la quantità trasportata da

monte viene ridotta in piccole parti rapidamente lungo il trasporto (Gippel et al., 1996; Moulin, 2005). La trattenuta di materiale legnoso è associata alla morfologia del canale e alla distribuzione di velocità. Una grossa quantità di materiale viene accumulata ai margini del canale quali le sponde concave dei meandri, a monte di barre o isole vegetate e ai bordi di canali secondari. Maggiore è il contatto tra il canale attivo e la piana alluvionale o le isole e maggiore è la quantità di materiale legnoso accumulato. Gurnell et al., (2000) hanno dimostrato che isole fluviali o barre vegetate accumulano maggior quantità di materiale legnoso rispetto alle semplici barre: da 1 a 6 t ha⁻¹ nel caso di barre contro le oltre 1000 t ha⁻¹ per zone vegetate.

Dalle osservazioni effettuate si riscontra una distribuzione del materiale legnoso che riflette la natura discontinua della produzione di materiale legnoso e la l'importanza del regime di flusso. Eventi caratterizzati da grosse piene possono erodere parti della piana alluvionale e il tirante può superare il livello delle barre causando l'inondazione di tutto il canale depositando materiale legnoso per tutta la larghezza e a stadi successivi; portate inferiori, invece, non raggiungono i margini della foresta nella piana alluvionale per cui causano produzione di materiale legnoso principalmente tramite erosione di sponda e riescono a trasportare materiale depositatosi nella zona attiva durante la precedente piena. Di conseguenza l'ammontare di materiale legnoso diminuisce nel tempo in seguito alla piena.

1.4.2 Processi nei corsi d'acqua di grandi dimensioni

La ricerca della relazione tra flusso idrico e "portata legnosa" è tutt'ora elemento di discussione. Piégay (2003) tramite uno studio sviluppato lungo il Fiume Isère (Grenoble, Francia) ha calcolato l'apporto di materiale legnoso in determinate sezioni. Il grafico in figura riporta l'ammontare del materiale legnoso misurato in corrispondenza della diga di Beauvoir, (Fiume Isère, Grenoble) nei vari mesi per l'anno 1995 posto in relazione con la portata liquida. L'intento era quello di capire quale fattore è più influente sulla mobilità del legname all'interno del corso d'acqua. Come risulta evidente nel grafico in figura 1.10 l'andamento della "portata legnosa" non è uniforme nel tempo e nello spazio come del resto accade per la portata liquida. Tuttavia la maggiore quantità di materiale legnoso

convogliato all'interno del canale non è per forza legato principalmente alle portate di piena, anche le portate ordinarie hanno un effetto non trascurabile.

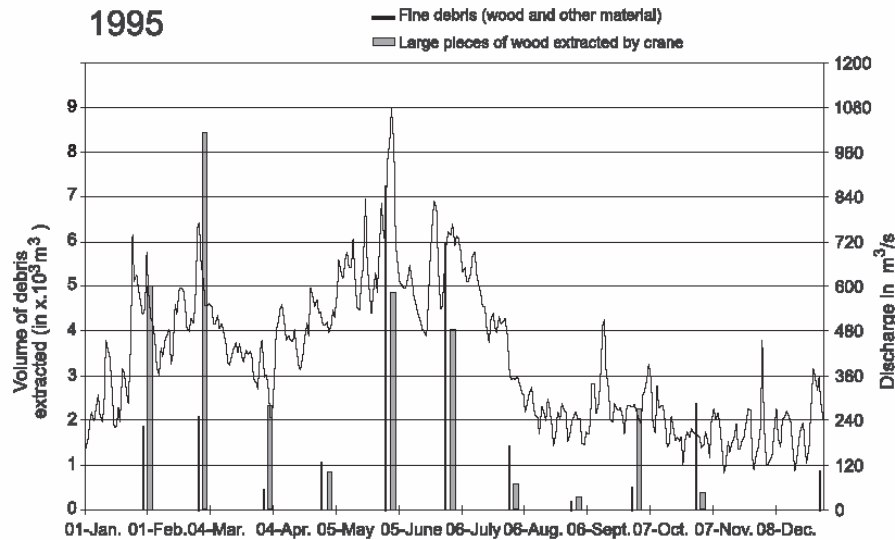


Figura 1.10 Portata e volume di materiale legnoso estratto mensilmente nel 1995 presso la diga di Beauvoir lungo il Fiume Isère, Grenoble, Francia (Piégay, 2003).

Di difficile previsione risulta invece la quantità relativa all'erosione di sponda. Piégay (2003) visualizza il bacino di un fiume come un complesso serbatoio di materiale legnoso (oltre che di sedimenti) con diversi parametri di scabrezza e di distanza tra i siti in cui si ha produzione di materiale e quelli in cui questo viene misurato. In questa maniera viene ottenuta una distribuzione di materiale legnoso che avrà dei picchi in determinati periodo. Risulterà quindi facile legare la presenza di un singolo picco al verificarsi di un evento di piena mentre due picchi contemporanei rifletteranno con buona probabilità il verificarsi di un evento di tempesta in diverse sezioni del bacino, una più vicino dell'altra al sito di misura; un picco lungo corrisponderà ad una piena verificatasi in seguito ad un intenso evento di precipitazione esteso a tutto il bacino. Il picco di "portata legnosa", inoltre risulta avvenire in seguito o contemporaneamente al picco di portata liquida, a differenza delle concentrazioni di soluto o dei sedimenti sospesi il cui picco di concentrazione si verifica, prevalentemente, nei grandi fiumi, prima del picco di portata. Questo avviene proprio per il fatto che probabilmente gran parte del materiale legnoso in grandi corsi d'acqua viene introdotto attraverso il fenomeno di erosione di sponda. Il trasporto, in seguito al picco, decresce lentamente a causa di molteplici fattori di scabrezza

all'interno del canale. Dalle osservazioni non risulta dunque associabile l'ammontare del materiale legnoso all'intensità di portata liquida intervenendo molti altri fattori nella produzione, quali i processi legati alla stagione vegetativa, e nel trasporto, quali i processi di cattura, di abrasione e di decomposizione (Piégay et al., 1999).

1.4.3 Interazione tra il materiale legnoso e la morfologia d'alveo

L'influenza del materiale legnoso sulla geomorfologia dei grandi fiumi è un fenomeno complesso. Gli effetti sono infatti osservabili in termini di scala locale, dell'ordine di qualche metro quadrato, oppure a scala più ampia per tratti di diversi chilometri. Gli effetti di tipo geomorfologico, dunque, dipendono non solo dalle caratteristiche del materiale legnoso, ma anche dalle caratteristiche geomorfologiche locali del canale. In generale si è verificato che la presenza di accumuli legnosi porta ad una maggiore stabilità del canale. Gli accumuli di detrito legnoso generano zone di avulsione e la formazione di canali secondari (Hickin, 1984; Harwood e Brown, 1993) che permettono la formazione di una gerarchia moderatamente stabile di canali che supportano le varie portate presenti nel tempo (Gurnell et al., 1995; Gurnell e Linstead, 1999) nel caso di torrenti montani. Nei fiumi grandi il detrito legnoso ha una forte importanza sulla forma e la dinamica delle sponde del fiume (Fetherston et al., 1995; Piegay et al., 1998; Piegay e Marston, 1998) e sulla creazione e mantenimento di barre vegetate e isole (Abbe e Montgomery, 1996; Gurnell et al., 2001; Gurnell e Petts, 2006).

1.4.3.1 Siti di deposito

Sebbene stocasticamente il materiale legnoso sia distribuito nelle sezioni più a monte dei grandi corsi d'acqua, dove la mobilità del materiale è difficile, la distribuzione del legname è correlata a determinate strutture chiave di scabrezza (Piégay et al., 1993; Piégay et al., 1999). Come conseguenza di questo si ha che esistono dei luoghi preferenziali di deposito quali le superfici delle barre dove il materiale si arena, punti di deflusso della corrente, sponde concave, rientranze nelle sponde del canale, l'estremità a monte delle isole fluviali o in corrispondenza delle pile dei ponti.

La distribuzione del materiale varia in relazione alla tipologia di canale: un corso d'acqua a canali intrecciati tendenzialmente vedrà formarsi zone di deposito sulle barre; lungo i meandri e nei canali anastomizzati il materiale legnoso si deposita preferenzialmente sulle sponde concave (Gurnell et al., 2002), (fig. 1.11). Con l'aumento delle isole fluviali spostandosi verso valle all'interno dei fiumi cresce la quantità di materiale accumulato. Nelle zone di pianura, la bassa velocità del flusso mobilita con maggior difficoltà gli elementi che risultano, di conseguenza, distribuiti in maniera più casuale lungo le sponde e talvolta rimangono ancorati a queste confermando l'origine di diversi frammenti legnosi (Gippel et al., 1996). In questi tratti risulta più probabile trovare singoli elementi che accumuli distribuiti lungo il canale attivo. Diversi autori considerano sito preferenziale di deposito le sponde concave (Keller e Swanson, 1979; Hickin, 1984), tuttavia ogni meandro differisce in termini di altezza, posizione, possibilità di esondazione della piana alluvionale e grado di sinuosità, tutti elementi che influenzano la tipologia di deposito del materiale legnoso (Piégay e Marston, 1998; Piégay, 2003).

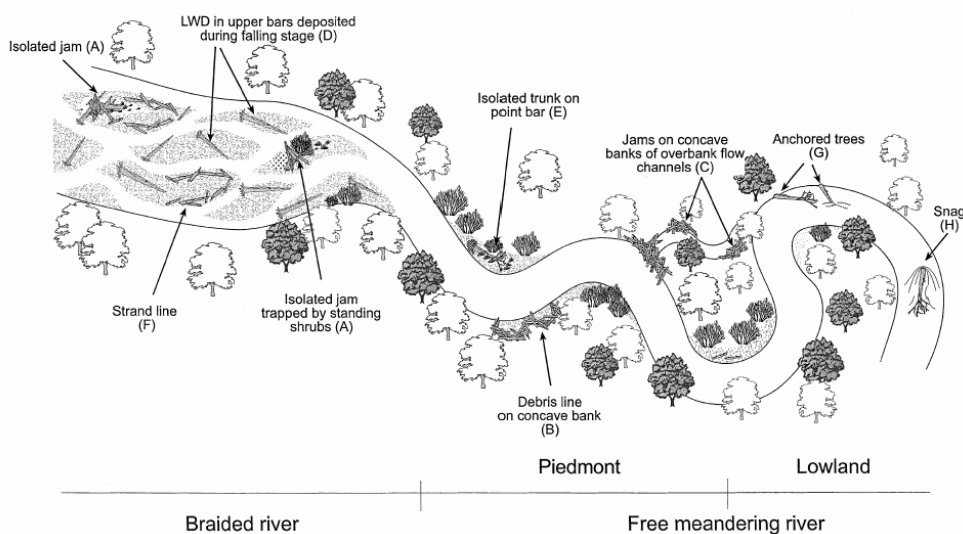


Figura 1.11 Tipologia di accumuli di materiale legnoso in grandi corsi d'acqua, (Gurnell et al., 2002).

1.4.3.2 Efficienza di cattura

All'interno dei tratti di un corso d'acqua esistono elementi legnosi in continuo movimento; la stima, dunque, del materiale legnoso riscontrato in una certa sezione può non essere indicativa rispetto al volume totale che viene trasportato all'interno dell'alveo.

Un'esperienza sul Fiume Drôme, a canali intrecciati, ha permesso di valutare l'efficienza di cattura del sistema misurando la quantità di materiale legnoso presente all'interno dell'alveo e quello prodotto dalla piana alluvionale (Piégay et al., 1999). La quantità presente all'interno del canale è risultata pari a 1.3 – 3.1 volte l'ammontare di materiale legnoso prodotto annualmente (0.7 – 1.9 t/km), la maggior parte del quale è rimasto intrappolato sulle barre. Soltanto una quantità pari a 0.12 – 0.32 volte l'ammontare di materiale prodotto annualmente è rimasto accumulato nel canale di magra ed è diventato potenzialmente accessibile per le comunità acquatiche. Altra situazione è quella di un meandro del Fiume Ain, in corrispondenza dell'abitato di Mollon, dove la capacità di trattenuta risulta molto bassa. La quantità di materiale prodotto in seguito ad erosione di sponda è superiore alla quantità di trattenuta da un anno all'altro. Questo suggerisce che l'accumulo di materiale in corrispondenza del meandro non è un processo cumulativo e che la maggior parte degli accumuli riscontrati derivano da processi di produzione annuale. Tuttavia la linea che delimita il materiale legnoso sulla sponda varia in relazione alla sinuosità che risulta in continuo cambiamento rispetto alle variazioni di velocità del flusso. Dall'anno 1992 all'anno 1995 la sponda ha subito una variazione di 10 – 20 cm per anno e contemporaneamente la direzione degli accumuli è variata passando da est-ovest a sudovest-nordest come risposta ai cambiamenti dell'orientazione del flusso sulla sponda. Un'altra possibilità è quella che il detrito venga seppellito dai sedimenti e rimanga all'interno dell'alveo per centinaia di anni (Nanson et al., 1995; Bilby e Bisson, 1997; Hyatt e Naiman, 2001). Minore conoscenza si ha del comportamento del materiale legnoso e della sua influenza geomorfologica sotto il pelo libero della superficie.

1.4.3.3 Effetti sulla piana alluvionale

La questione degli effetti del materiale legnoso all'interno dei corsi d'acqua è stato affrontato da diversi studi, mentre minore attenzione è stata dedicata all'influenza che questo può avere sulla piana alluvionale: suo sviluppo, crescita di vegetazione o influenza sulla velocità di migrazione dei meandri (Piégay, 2003). L'argomento non è ancora chiaro, molto poche sono ancora le ricerche svolte e spesso un grosso fattore di controllo è il verificarsi di eventi di piena importanti in periodi o meno di stagione vegetativa.

Un aspetto che verrà affrontato in seguito riguarda la formazione di isole fluviali, processo altamente connesso alla cattura di detrito legnoso. Queste, se riescono a trovare le condizioni adatte, crescono stabilizzandosi nel tempo e connettendosi in alcuni casi con la piana alluvionale circostante. Si ha un vero e proprio cambiamento del percorso del fiume.

Anche la formazione di barre centrali in seguito ad accumulo di materiale legnoso può avere delle conseguenze sulla piana alluvionale, tuttavia in genere questo è vero se la larghezza delle barre diventa superiore alla larghezza del canale (Piégay, 2003).

Il fenomeno del taglio di meandro (*meander cut-off*) riscontra opinioni discordanti. Keller e Swanson, 1979 hanno osservato come l'accumulo di materiale legnoso può provocare un blocco nel canale principale che spinge parte della corrente verso la sezione interna del meandro causando, quindi un taglio di meandro. Tuttavia Hickin (1984) osserva come la stessa presenza di accumulo funge da barriera protettiva rispetto alla sponda e non sempre provoca fenomeni di questo tipo. All'interno di un Meandro del Fiume Ain, presso Mollon, sono state osservati comportamenti diversi in base alle situazioni. La concentrazione di flusso ha infatti provocato l'occupazione della parte di piana alluvionale circostante al meandro senza però accelerare il processo di taglio di meandro. La presenza di accumuli rallentano, inoltre, il processo di erosione in parte favorito dalla presenza di sponde vegetate. L'osservazione di questo meandro nel tempo ha reso evidente la diversa reazione del corso d'acqua in base alla tipologia di uso della piana effettuato. Prima del 1950 la piana alluvionale era, infatti, dedita a pascolo e all'interno del meandro si riscontrava la presenza di piccoli canali con valori di sinuosità pari a 2.5 – 3. L'attuale sinuosità è pari a 4.5 e non è stata provocata alcuna formazione recente di canali interni al

meandro; in corrispondenza di questo, la piana alluvionale risulta ricoperta da foresta e presenta diversi accumuli nella parte concava della sponda (fig. 1.12).



Figura 1.12 Meandro del Fiume Ain in corrispondenza dell'abitato di Mollon, (Lyon, Francia) (Piégay, 2003).

1.4.3.4 Formazione di isole fluviali

All'interno dei grandi corsi d'acqua un fenomeno tipico che si verifica è la formazione di isole fluviali. Diversi studi (Gurnell et al., 2005) hanno evidenziato il ruolo che il materiale legnoso assume nella formazione di queste unità morfologiche. Questo ruolo risulta evidente quando il legname è ancora in grado di gettare nuove radici e rami e attecchisce nuovamente (fig. 1.13); in genere si tratta di latifoglie delle zone ripariali e per la maggior parte nelle zone temperate la famiglia predominante è quella delle *Salicaceae*, con prevalenza di Pioppi e Salici. L'evoluzione di questo fenomeno, se non sopraggiungono altri fattori, consiste nella formazione di unità vegetate sempre più complesse fino alla formazione di isole fluviali vere e proprie quando le condizioni lo permettono.



Figura 1.13 Isola pioniera (Gurnell et al., 2005).

Da osservazioni sul Fiume Queets, Washington, USA, (Abbe e Montgomery 1996, 2003) è stato sviluppato un modello di formazione di isola fluviale a partire da un accumulo legnoso depositatosi a monte di una barra centrale e l'eventuale sviluppo successivo dell'isola in piana alluvionale. La formazione di isole, secondo questo modello, avviene in seguito all'accumulo di legname morto e alla crescita di vegetazione da propaguli depositatisi all'interno della zona protetta dal legname. In quest'area che si viene a creare, infatti, il legname supporta la crescita della vegetazione agendo da *resource node*, come viene definito da Pettit e Naiman (2005) ossia permette l'accumulo di sedimento fine e quindi la trattenuta di nutrienti e materiale organico dal legno in decomposizione.

Ricerche effettuate sul Fiume Tagliamento (Gurnell et al. 2001; Gurnell e Petts; 2002, Gurnell et al. 2005) hanno permesso di dimostrare l'esistenza di un ulteriore meccanismo che causa un'accelerazione del processo di formazione dell'isola fluviale, specialmente nel caso di fiumi caratterizzati da avulsione e frequenti piene. Lungo il Fiume Tagliamento (Gurnell et al., 2005) alcune parti di *Populus nigra* ancora vivo hanno attecchito permettendo la crescita di alberi in seguito alla sua deposizione e la velocità di crescita di isole nate da fenomeni di questo tipo è stato riscontrato essere quattro volte maggiore di quella caratterizzante il meccanismo precedentemente descritto. Isole di lunghezza pari a 200 metri sono cresciute in meno di 20 anni. Questo tipo di processo va chiaramente relazionata anche alla tipologia di specie legnosa e alle condizioni locali presenti, come la tipologia di substrato adeguata. Il materiale trasportato dalla corrente

depositandosi causa la creazione di un'unità complessa che interagisce con il flusso idrico e i sedimenti trasportati. Come risulta evidente dalla figura (fig. 14) l'elemento legnoso, se di dimensioni sufficienti, causa la deflessione del flusso idrico permettendo la formazione di uno scavo laterale attorno ad esso, ma al tempo stesso il deposito di sedimento fine e altro materiale legnoso su di esso o a monte di esso (fig. 14a). Se le condizioni idrauliche e morfologiche lo permettono l'unità potrà evolvere con la crescita di vegetazione e in seguito formare un'isola pioniera (Edwards et al., 1999) (fig. 14b). L'ultimo stadio di questo processo è la formazione dell'isola fluviale stabile (Gurnell et al., 2005) (fig. 14c). La tipologia di habitat che si viene a formare non cambia da uno stadio all'altro, mentre le dimensioni cambiano in rapporto alla dimensione dell'area vegetata. Ad esempio accumuli di legname o isole pioniere di lunghezza attorno ai 30 m sono spesso associati alla formazione di scavi in cui si generano facilmente pozze. Isole fluviali stabili lunghe attorno ai 100 m permettono la crescita degli scavi oltre il fondo dell'alveo e permettono il mantenimento delle pozze per periodi prolungati, con chiari conseguenze sulla formazione di habitat per la sopravvivenza di microrganismi, invertebrati e vertebrati.

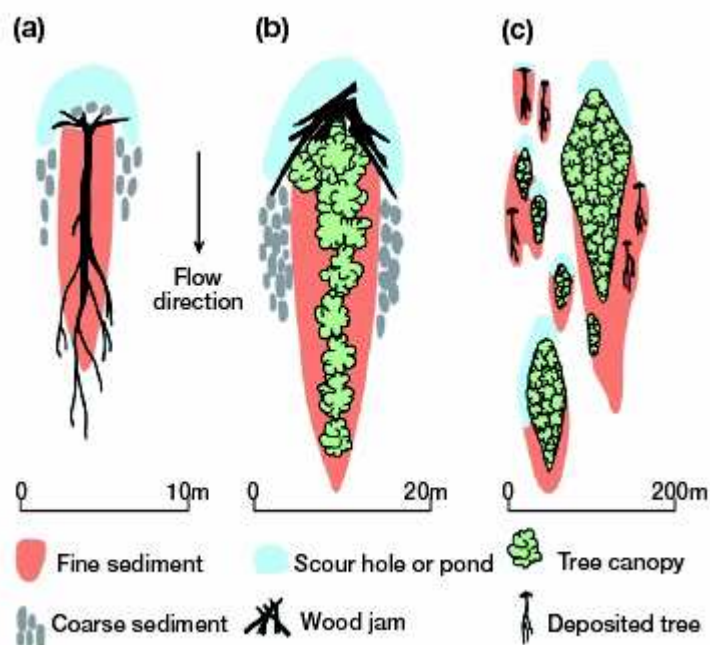


Figura 1.14 Sviluppo di un'isola fluviale a partire da materiale legnoso(Gurnell et al., 2005).

Lo sviluppo dell'isola o della barra da parte di un singolo elemento ha un effetto principalmente locale in termini di resistenza al flusso e di influenza sulla forma dell'unità morfologica che genera o su cui è depositato; la presenza di diversi accumuli o elementi in una stessa barra può avere effetti sull'intera barra in relazione alla densità di detrito e vegetazione presente (Gurnell et al., 2001). Densità diverse causano comportamenti diversi sulla trattenuta del sedimento fine (fig. 1.15) e, di conseguenza, sull'eventuale formazione di isole.

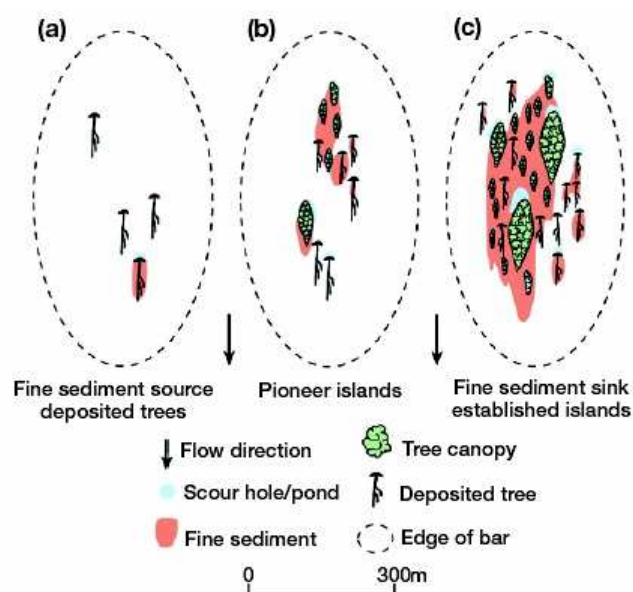


Figura 1.15 Impatto ipotetico sulla forma di una barra in relazione alla quantità di materiale legnoso presente (Gurnell et al., 2005).

1.4.4 Aspetti ecologici del materiale legnoso all'interno dei grandi corsi d'acqua

L'importanza ecologica del materiale legnoso all'interno dei corsi d'acqua è stata precedentemente descritta in termini generale. La specifica funzione all'interno dei fiumi è chiaramente diversa sulla base del fiume considerato, della posizione geografica e quindi del clima considerato. Risulta evidente tuttavia il ruolo che esso rappresenta nella formazione di habitat e nella preservazione di specie di vertebrati e invertebrati. Bisson et

al. (1987) dimostrano che con l'allargamento del canale e la formazione di barre aumenta la probabilità di formazione di accumulo con il conseguente formarsi di piccoli canali secondari importanti per la crescita di alcune specie ittiche quali salmoni e trote nel caso dei corsi d'acqua del Pacific Northwest. Nei fiumi con letto sabbioso la presenza di materiale legnoso permette la formazione di importanti habitat di invertebrati e indirettamente quindi lo sviluppo di forme di vertebrati fornendo l'alimentazione necessaria alla loro crescita (Wallace e Benke, 1984).

In fiumi grandi con un limitato volume di materiale legnoso l'abbondanza di specie ittiche presenti e la loro diversità è legata comunque alla presenza di strutture legnose. Ricerche su alcuni fiumi francesi con diverse caratteristiche morfologiche (Drôme, Loire e Rhône) hanno mostrato come la quantità e diversità dei pesci è correlata alla quantità di materiale legnoso accumulato e alle strutture presenti (Thévenet, 1998). La principale specie che si riscontra nei tratti studiati lungo questi fiumi è quella dei *Ciprinidi*: *Leuciscus cephalus*, *Gobio Gobio* e il *Phoxinus phoxinus*. Tratti con grandi elementi legnosi hanno maggiore diversità biologica con 1.3 – 2 volte il numero di specie presenti nelle zone prive di materiale legnoso. Risultati simili sono stati riscontrati in Mississippi dove il numero di specie presenti in zone con materiale legnoso è pari a 2 - 50 volte la quantità presente in zone prive di legname. Alcune specie di pesci più piccoli tuttavia non risultano influenzate dalla presenza di accumuli legnosi essendo questa tipologia di pesci preda di specie più grandi facilmente riscontrabili in questi habitat. Ogni specie ha dunque un comportamento diverso rispetto agli habitat che si vengono a creare come nel caso del *Barbus barbus* che utilizza gli habitat legnosi solo in presenza di flussi ad alta velocità e la quantità presente non è correlata all'ammontare di materiale legnoso. La distribuzione di specie ittiche presenti sarà, dunque, legata alla distribuzione e al tipo di struttura legnosa (Allouche et al., 1999); conoscere questi impatti è importante nell'ottica di effettuare una riqualificazione fluviale che permetta un equilibrio nel rispetto degli habitat fluviali, nell'attenzione verso il rischio idraulico e nella necessità di una gestione integrata del fiume (Piégay, 2003).

1.4.5 Impatto antropico

Nella descrizione del controllo dell'ammontare del materiale legnoso nei corsi d'acqua da parte di fenomeni naturali è implicitamente considerato l'effetto dell'attività antropica, specialmente per quanto concerne le caratteristiche idrologiche, idrauliche e del materiale legnoso. I processi naturali sono di fatto ancora sconosciuti specialmente per grandi corsi d'acqua proprio a causa dell'impatto dell'attività umana. Questa ha infatti modificato il volume di materiale prodotto in seguito alla gestione delle foreste ripariali, alle protezioni di sponda che impediscono l'erosione e riducendo la popolazione di castori nei luoghi interessati da questo fenomeno; ha modificato il volume di materiale accumulato all'interno del canale tramite opere di rimozione e pulizia d'alveo; ha interrotto la continuità longitudinale dei corsi d'acqua costruendo opere quali dighe, sbarramenti e altre strutture di controllo delle colate detritiche e delle frane nel tratto montano (Gurnell et al., 2002). Inoltre il controllo del regime di portate e del trasporto solido influenza la dimensione del canale, la geomorfologia del corso d'acqua e l'interazione tra flusso, sedimenti e legno. Il regime idraulico induce cambiamenti anche nella decomposizione del materiale legnoso, nelle sue forme di accumulo e quantità. Risulta dunque evidente che la tipologia di corsi d'acqua considerati si può ritenere più antropogenica che naturale nonostante l'apparente stato. In questo contesto la riqualificazione dei sistemi fluviali appare più complessa e spesso eccede la scala temporale considerata nei progetti. Sebbene sia possibile, infatti, mitigare gli effetti antropici sulla produzione e l'accumulo di materiale legnoso la riqualificazione di un'ecosistema creatosi in seguito all'accumulo di materiale legnoso è molto improbabile a causa dei tempi lunghi che necessita. Questo non è in accordo con le usuali richieste di avere effetti nel giro di pochi anni. Sono, quindi, importanti misure di conservazione per salvare i tratti che tutt'ora preservano condizioni naturali e dove sia possibile osservare in tempi brevi processi connessi alla presenza di materiale legnoso (Gurnell et al., 2002).

1.4.6 Metodologie utilizzate in precedenti studi: Queets River e Tagliamento.

Tra i fiumi in cui è stato studiato il problema del materiale legnoso nei grandi corsi d'acqua il Fiume Queets rappresenta un esempio importante per le condizioni naturali che lo caratterizzano.

Il bacino del Queets River (Washington, USA) ha un'area di 1163 km² ed è caratterizzato da una portata media annuale di 121 m³/s. Lo studio è stato effettuato su gran parte del bacino escludendo un tratto in cui non è presente vegetazione e dividendo la parte rimanente in una zona più a monte e una più a valle sulla base del tipo di gestione forestale presente e passata. Il Fiume Queets è caratterizzato da un tratto più a monte in cui è presente una foresta incontaminata dato che l'unico impatto antropico risale ai primi del 1900 da parte di una comunità locale. Inoltre sebbene i tributari del Fiume Queets siano soggetti a taglio le alterazioni della foresta ripariale o del canale possono essere ritenuti trascurabili essendo gran parte del territorio all'interno dell'Olympic National Park dal 1933. La produzione di materiale legnoso risulta dunque significativa e di interesse in quanto rappresenta uno dei pochi fiumi tutt'ora non fortemente contaminati dall'attività umana. Il materiale legnoso presente all'interno del corso d'acqua è stato stimato in diverse parti della rete idrografica con lo scopo di determinare la presenza di particolari forme di accumulo in relazione alle caratteristiche del canale (pendenza, larghezza e profondità). La mappatura è stata effettuata prima in campo e poi tramite foto aeree in scala 1:12000. Sulla base delle caratteristiche rilevate Abbe e Montgomery (2003) hanno classificato dunque le tipologie di accumulo già qui descritte e che tutt'ora fungono da riferimento per molte ricerche in atto. Le caratteristiche riscontrate dagli autori sono state poi osservate in altri bacini di diversi paesi: nel Pacific Northwest, nel Montana, in Bolivia, in Australia e in Nuova Zelanda che sono tutte zone caratterizzate da foreste incontaminate (Abbe e Montgomery, 2003). Dalle osservazioni fatte Abbe e Montgomery (2003) riscontrano l'importanza dell'elemento chiave (*key pieces*) quale principale meccanismo nel formare ostruzioni, accumuli stabili e nel trattenere o mobilitare altro materiale legnoso nei grandi corsi d'acqua a bassa pendenza. Il deposito dell'elemento chiave innesca una serie di cambiamenti che influenzano significativamente le caratteristiche fisiche e biologiche e la complessità degli ambienti acquatici e ripariali. Dalle osservazioni Abbe e Montgomery

(2003) hanno riscontrato che uno stesso sistema fluviale presenta una maggiore capacità di ritenzione di materia organica quando è caratterizzato dalla presenza di elementi chiave. La produzione di questi dipende dall'estensione e dalle caratteristiche della foresta ripariale nel tratto considerato e in quello a monte della zona considerata.

In Europa lo sfruttamento delle zone ripariali adibite a pascolo o alla produzione di legna ha reso difficile la sopravvivenza di foreste incontaminate e la maggior parte dei fiumi è caratterizzata da una situazione molto diversa da quella presentata per il Fiume Queets. Tuttavia, come già anticipato, lo sviluppo di nuove tecniche agricole ha permesso il ricrearsi di zone vegetate che oggi causano la produzione di materiale legnoso anche se in minor quantità rispetto a fiumi non intaccati dall'attività umana. Il Fiume Tagliamento, può essere visto come l'ultimo corso d'acqua "quasi-naturale" in Europa (Lippert et al., 1995; Müller, 1995; Ward et al., 1999). Il bacino del fiume drena un'area di 2580 km² e la sua asta è lunga 172 km. E' caratterizzato da un regime torrentizio con piene in primavera a causa dello scioglimento delle nevi e in autunno, periodo di precipitazioni. La parte montana del corso d'acqua è caratterizzata dalla presenza di foreste estese e una piccola parte soggetta ad uso agricolo. Il corridoio del fiume alterna zone vallive molto larghe in cui si presenta una morfologia a canali intrecciati e sezioni più strette in cui il canale è maggiormente confinato fino a raggiungere una conformazione unicorsale in alcuni tratti dove non è presente una piana alluvionale. Nel tratto più a valle assume andamento meandriforme per sfociare nel Mare Adriatico attraversando una piana molto larga dove il fiume perde completamente i confini laterali e la zona attiva viene limitata dall'estesa piana alluvionale caratterizzata da una foresta quasi-naturale. Una caratteristica tipica della zona attiva a canali intrecciati è la presenza di isole vegetate. Il tratto in cui le isole occupano la maggior parte della zona attiva è quello pedemontano che rappresenta una zona di congiunzione tra zona di monte e zona di valle del bacino. La concentrazione in questo tratto è di 20 isole per km, sebbene non siano distribuite uniformemente in tutta la zona (Edwards et al., 1999; Ward et al., 2000).

La caratteristica di "quasi-naturalità" del fiume Tagliamento ha spinto molti autori ad investigare il ruolo del materiale legnoso all'interno di questo fiume specialmente nell'influenza che questo ha nella formazione delle isole fluviali (Edwards et al., 1999; Van der Nat, 2003; Tockner et al., 2003; Gurnell e Petts, 2006). Lo schema di rilievo effettuato ha compreso l'individuazione di aree tramite una griglia ipotetica in cui è stata

inclusa la piana alluvionale. La cella della griglia è stata considerata di dimensioni pari a 225 x 225 m nel tratto con presenza di barre e di 300 x 300 m nel tratto con presenza di isole (Van der Nat et al., 2003). In ogni cella sono state individuate 6 posizioni casuali escludendo quelle al di fuori della zona attiva o caratterizzate dalla presenza di foresta per più di 30 m (Piégay e Marston, 1998) ottenendo 94 e 71 posizioni rispettivamente per il tratto con barre e per quello con isole fluviali marcate in seguito tramite GPS. In queste zone sono state classificate le varie forme di accumulo o la presenza di singoli tronchi isolati ed è stata misurata la dimensione degli accumuli ipotizzando l'elemento racchiuso in un parallelepipedo secondo la metodologia espressa da Thevenet et al., (1998). In questa maniera è stato stimato statisticamente un valido numero di campioni rappresentativi della quantità di materiale legnoso presente in relazione alle unità morfologiche considerate. La quantità di materiale legnoso misurata all'interno delle isole è risultata nettamente superiore rispetto alla quantità presente sulle barre. Avendo i due tratti le medesime caratteristiche morfologiche e stessa pendenza le uniche cause possono essere la diversa funzione di trattenuta e la diversa erosione di sponda che caratterizza le due zone. Una stima del materiale prodotto ha permesso di quantificare la massa di materiale prodotto in seguito all'ultima piena e quindi a causa dell'erosione comprovando nessuna differenza tra le due zone e soprattutto dando un'indicazione sulla maggiore capacità di trattenuta delle isole rispetto alle barre.

2 OBIETTIVI

La ricerca affronta diversi aspetti riguardanti ruolo che il materiale legnoso assume all'interno dell'alveo di un fiume, ma principalmente si occupa di sviluppare l'ipotesi di relazione esistente tra materiale legnoso e caratteristiche morfologiche nei corsi d'acqua di grandi dimensioni. Lo stato dell'arte fin qui riportato (vedi capitolo introduttivo) dimostra che vi è una conoscenza piuttosto diffusa dell'influenza del materiale legnoso all'interno di bacini di torrenti montani mentre è ancora poco nota la relazione esistente tra materiale legnoso e caratteristiche di grandi corsi d'acqua: come queste influenzino il trasporto del legname e il ruolo che questo ha con la formazione di isole fluviali.

In merito a quanto spiegato fino ad ora e rispetto alle questioni poste gli obiettivi specifici affrontati riguardano:

- Confrontare le caratteristiche fisiche del materiale legnoso presente in tre fiumi diversi di morfologia comparabile: il Fiume Piave (Veneto, Italia), il Fiume Magra (Toscana, Italia) e il Fiume Ain (Rhône-Alpe, Francia).
- Determinare i volumi di materiale legnoso all'interno di tratti studiati nel Fiume Piave con diverse caratteristiche geomorfologiche.
- Confrontare la relazione esistente tra la presenza di materiale legnoso e particolari configurazioni morfologiche.
- Analizzare la tipologia di distribuzione del materiale legnoso.
- Valutare la diversa relazione tra il materiale legnoso presente e la presenza di isole fluviali all'interno dei tratti studiati.
- Valutare la possibile relazione tra zone di erosione e la presenza di materiale legnoso.
- Individuare e proporre criteri progettuali da adottare nell'ottica di una gestione mirata del materiale legnoso per corsi d'acqua di grandi dimensioni.

3. AREA DI STUDIO E METODOLOGIE UTILIZZATE

3.1 Introduzione

La ricerca inerente il trasporto del materiale legnoso all'interno dei corsi d'acqua richiede una raccolta dati continua al fine di ottenere una quantità di informazioni consistente e sufficiente a raggiungere una buona qualità e validità dei risultati nell'analisi.

A tal fine sono state svolte sperimentazioni di campo con modalità diverse per poter analizzare vari aspetti del fenomeno; per semplificare la trattazione del problema verranno suddivise le metodologie e i materiali sulla base del tipo di attività considerata come spiegato in seguito.

Lo studio delle caratteristiche fisiche del materiale legnoso ha molta importanza a causa del diverso comportamento che esso assume in relazione alla specie presente, alla densità, al grado di decomposizione e di conseguenza alla resistenza che esso oppone al moto e in caso di urto. A tal motivo è stata eseguita una parte di ricerca finalizzata a ricavare i dati suddetti da alcuni campioni prelevati in periodi diversi da tre corsi d'acqua: il Fiume Piave (Veneto, Italia), il Fiume Magra (Toscana e Liguria, Italia) e il Fiume Ain (Rhône-Alpe, Francia). L'analisi dei campioni si è svolta nel periodo tra aprile e giugno 2007 presso il laboratorio del CNR'S di Lyon, Francia, al fine di ottenere un raffronto delle caratteristiche, supponendo assimilabili le condizioni ambientali nel momento del prelievo e valutando una similarità nella geomorfologia dei tre fiumi studiati. Le caratteristiche indagate sono: la densità del materiale prelevato, la resistenza a penetrazione, la specie e il grado di decomposizione. Alcuni dei campioni sono stati sottoposti alla misurazione del C14 al fine di valutare l'anno di morte delle piante. In seguito verranno riportate nel dettaglio le sperimentazioni eseguite.

Un secondo aspetto valutato è quello del trasporto di materiale legnoso. Il lavoro di campo, già iniziato nel primo anno, si è concentrato sulla possibilità di osservare in campo il trasporto di 10 tronchi per mezzo di trasmettitori di radiofrequenza. Lo scopo primario della sperimentazione è di riuscire a valutare una relazione tra le caratteristiche fisiche e geometriche dei tronchi considerati e le caratteristiche idrauliche e geomorfologiche del sito in cui il materiale si trova. L'utilizzo dei trasmettitori permette di ritrovare il tronco in caso di spostamento e consente un monitoraggio del fenomeno per un tempo prolungato.

Una seconda parte dei rilievi di campo è stata effettuata tra marzo e novembre 2006 ed ha riguardato la caratterizzazione del materiale legnoso mediante una serie di schede di rilevamento sviluppate da Rinaldi et al., (in preparazione), derivanti da quelle originariamente proposte da Betti et al., (2006). L'indagine ha interessato un tratto di circa 30 km del fiume Piave compreso tra l'abitato di Ponte nelle Alpi e Busche (Belluno). In questo tratto il Fiume Piave è caratterizzato da una tipologia morfologica predominante a canali intrecciati (*braided*) presentando comunque alcune zone in cui l'andamento è di tipo wandering e in altre a barre alternate. In questa parte il corso d'acqua comincia ad assumere larghezze dell'ordine dei 500 m, comportando problemi logistici e di tempo nel rilevamento di campo. A questo si aggiunge l'inaccessibilità di alcune zone che rende quindi limitata la quantificazione del legname realmente presente. In particolare nel caso del Vallone Bellunese il valore reale del materiale potrebbe essere influenzato anche dall'attività antropica considerata l'abitudine locale di prelevare legna dall'alveo dove risulta possibile raggiungerlo. Questo comporta, come abbiamo verificato più volte, che nelle zone facilmente accessibili una grossa parte del materiale viene rimosso alterando la quantificazione dei dati reali di tronchi immessi. Per ovviare alle diverse problematiche riscontrate si è deciso di perseguire due approcci diversi: uno di campo realizzando un programma di monitoraggio e misurazione del materiale legnoso in campo e un altro studiando delle foto aeree ottenute in seguito ad un volo effettuato sul tratto nello stesso periodo. In questa maniera è stato possibile confrontare i dati di campo con ciò che risulta visibile dalle foto aeree stimando l'errore commesso e potendo in seguito quantificare il materiale presente in un'area più estesa raggiungendo zone inaccessibili fisicamente e riducendo nettamente i tempi di lavoro. Un'ulteriore vantaggio che si ottiene dallo studio delle foto aeree è il confronto tra la situazione presente e passata e la possibilità di valutare nel tempo la variazione morfologica e vegetazionale del corso d'acqua. Nello studio del trasporto del materiale legnoso diversi studi (Gurnell et al., 2005) hanno mostrato come questo, quando si accumula in seguito a trasporto, può rivegetare ed essere causa della formazione di isole. Questo fenomeno risulta molto importante nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati.

3.2 Area di studio e siti sperimentali

Vengono di seguito descritti i tre fiumi considerati: il Fiume Piave (Veneto, Italia), il Fiume Magra (Toscana, Italia) e il Fiume Ain (Rhône-Alpe, Francia) dove è stata svolta l'attività di ricerca descritta precedentemente. Lo studio ha riguardato principalmente il Fiume Piave tuttavia la collezione dei campioni per l'analisi delle caratteristiche fisiche, ha interessato anche gli altri corsi d'acqua per poter effettuare un raffronto supponendo assimilabili le condizioni ambientali (temperatura, umidità e condizioni climatiche) nel momento del prelievo ed essendo paragonabili in termini di caratteristiche geomorfologiche.

3.2.1 Fiume Piave

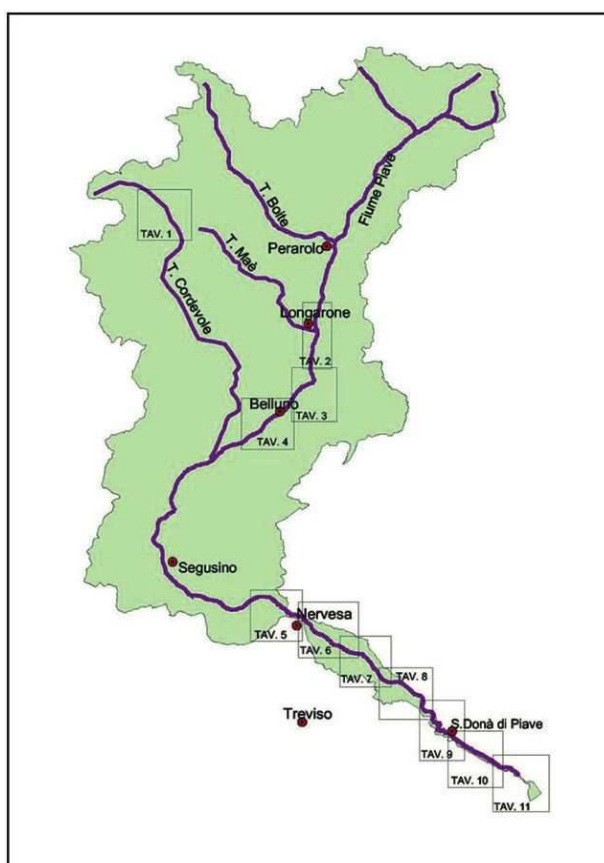


Figura 3.1 Bacino del Fiume, Piave.

Il bacino del fiume Piave ha una superficie complessiva di circa 4500 km² e la sua asta principale ha una lunghezza di 220 km. Le sorgenti del Piave sono poste alle pendici del monte Peralba (2639 m) ad una quota di 2037 m s.l.m. L'asta principale del fiume Piave, rispetto ad una caratterizzazione morfologica, può essere divisa in tre tronchi: il primo dalla sorgente a Longarone, il secondo da Longarone a Ponte di Piave e l'ultimo da Ponte di Piave fino alla foce. Nel tronco superiore, dalle sorgenti a Longarone, esso è un vero e proprio torrente, con alveo relativamente stretto, racchiuso tra alte pareti e avente molti sedimenti grossolani. La larghezza dell'alveo varia da pochi metri ad alcune decine di metri; solo nel tratto più a valle, tra Perarolo e Longarone, la larghezza è maggiore e raggiunge in alcune sezioni anche i 400 m. La pendenza dell'alveo presenta i valori massimi (8,8 %) lungo i primi 7 km del corso del fiume esso, nei successivi chilometri fino a Perarolo la pendenza è compresa tra 1,0 % e 3,2 % mentre assume valori compresi tra 0,5% e 0,6% tra Perarolo e Longarone (Vollo, 1942). Per quanto riguarda i sedimenti dell'alveo, essi sono molto grossolani (prevalenza di blocchi e ghiaie) nel tratto superiore fino a Lozzo di Cadore, mentre hanno dimensioni un po' inferiori (prevalenza di ghiaie) nel tratto successivo, fino a Longarone.

Il Piave subisce una brusca deviazione a Ponte nelle Alpi: tuttavia il tronco a monte trova la sua continuazione morfologica e geologica nella stessa direzione generale N-S dalla parte settentrionale del solco dei laghi Lapisini. Questo antico letto fluvio-glaciale fu interrotto dalla antica frana del Fadalto. In seguito a tale interruzione le acque, affluenti alla parte settentrionale del solco, da Ponte nelle Alpi fino alla sella di Fadalto, hanno invertito la direzione del loro corso a mezzo del lago di S. Croce e del suo emissario Rai. Nel tratto successivo, compreso tra Longarone e Ponte di Piave, il fiume presenta prevalentemente la tipica morfologia "a canali intrecciati" o *braided* tipica dei fiumi che possiedono un'elevata energia (generalmente questi fiumi si trovano in aree glacializzate oppure in aree con forte energia del rilievo e con elevata produzione di sedimento). L'alveo ha una larghezza che varia da alcune centinaia di metri fino a 2-3 km (i valori massimi si rilevano in corrispondenza delle grave di Ciano e delle grave di Papadopoli). In questa zona l'alveo è caratterizzato da una parte "attiva", ossia priva di vegetazione, in cui hanno sedi i processi fluviali, e da una parte "inattiva". Le parti "inattive" (isole e piana inondabile) sono zone attualmente non interessate da fenomeni di dinamica fluviale, ma che in conseguenza della loro posizione e della loro quota possono diventare attive a

seguito di modificazioni del tracciato fluviale. L'alveo a canali intrecciati è per sua natura molto instabile: i canali e le barre che lo formano vengono continuamente rielaborati e modificati grazie all'elevata capacità erosiva e di trasporto di questa morfologia fluviale. La pendenza, considerata la lunghezza di questo tratto (110 km) non varia in modo consistente tra Longarone e Ponte di Piave ed è compresa tra 0,2 % e 0,7 %. Le caratteristiche granulometriche dell'alveo sono abbastanza omogenee, il diametro medio è infatti compreso tra 20 e 50 mm (Surian, 1998).

Nell'ultimo tratto, che misura circa 40 km ed è compreso tra Ponte di Piave e la foce, la morfologia dell'alveo cambia notevolmente rispetto al tratto precedente. Esso diviene unicursale e la larghezza e la pendenza diminuiscono in modo rilevante. Il tracciato si presenta meandriforme da Ponte di Piave a San Donà di Piave, rettificato artificialmente da San Donà di Piave a Eraclea, infine ancora ad elevata sinuosità negli ultimi chilometri fino alla foce.

Relativamente alle caratteristiche geomorfologiche, viene diviso generalmente in due grandi zone, la parte montana e la parte di pianura. La parte montana si sviluppa dalle sorgenti a Nervesa, mentre la parte di pianura si sviluppa da Nervesa alla foce. Nella parte montana il reticolo idrografico è caratterizzato da un andamento planimetrico a forma dendritica con una forte asimmetria degli affluenti, rispetto all'asse fluviale infatti il 75 % dell'area montana del bacino è situata in destra e solo il 25 % in sinistra idrografica. Il profilo longitudinale del Piave nella parte montana è tipico dei corsi d'acqua arrivati ad una certa maturità evolutiva, esso ha infatti un andamento piuttosto regolare con pendenze decrescenti da monte verso valle. Allo sbocco del Piave nel Vallone Bellunese, presso Ponte nelle Alpi, ha origine la zona prealpina del bacino. In questa zona il Piave lascia la stretta valle che aveva percorso per entrare in un'ampia conca aperta a sud-est verso la valle di Santa Croce e a sudovest verso la Val Belluna. Il cambiamento morfologico della valle è da mettere in relazione con le diverse caratteristiche litologiche e strutturali. La zona del Vallone Bellunese costituisce una zona di passaggio tra i rilievi alpini e quelli prealpini, si passa cioè dalle formazioni mesozoiche calcareo-dolomitiche, a formazioni arenaceo-marnose cretacee e terziarie. Le caratteristiche geomorfologiche dei rilievi prealpini sono strettamente legati alle caratteristiche strutturali (Da Canal, 2006). Nel Vallone Bellunese il fondovalle è estesamente alluvionato e terrazzato per lunghi tratti. L'alveo attuale è molto largo e delimitato lateralmente da terrazzi fluviali e scarpate in

roccia. Sono stati riconosciuti sei livelli di terrazzi del Piave, mentre un numero minore di livelli caratterizza le valli degli affluenti (Surian, 1995). Sulla base di alcune datazioni avvenute con il metodo del carbonio 14 si è potuto attribuire al terrazzo più elevato del Piave un'età intorno agli 8000 anni. Dal punto di vista genetico il terrazzo più alto del Piave rappresenta un terrazzo climatico, in quanto la sua formazione è essenzialmente legata a una modificazione del clima (passaggio da un periodo glaciale ad un periodo non glaciale) (Surian, 1995).

Tutto il bacino del Piave appartiene alla zona di clima temperato-continentale umido che è comune anche a molte altre aree del versante meridionale delle Alpi. La piovosità sul bacino del Piave è assai variabile da luogo a luogo in funzione dell'orografia, dell'esposizione dei versanti e, in pianura, della distanza dai rilievi e dal mare. Nell'intero bacino la piovosità media annua riferita ad un periodo di osservazione 1928-1987 (60 anni) è di circa 1350 mm, dei quali, relativamente alle zone a minima piovosità, 1000 mm sono relativi alla parte nordoccidentale del bacino (sottobacino del torrente Cordevole, con un minimo sull'alta valle del torrente Pettorina), mentre le zone a maggior piovosità sono quelle centrorientali del bacino, con valori che variano da 1500 a 1900 mm (Cansiglio, Alpage, alto bacino del Vajont) arrivando anche a zone con 2000 mm. Risulta così che il bacino ha una piovosità superiore alla media nazionale (quasi 1000 mm annui) mentre è in media con le regioni trivenete.

Nella parte montana del bacino del Piave nel XX secolo sono state molte le alterazioni di origine antropica, le principali sono la costruzione di un articolato sistema di serbatoi idroelettrici, la costruzione di opere di difesa in alveo e di sistemazioni a scala di versante e la presenza di una significativa attività estrattiva in alveo. L'influenza di questi interventi nella dinamica dell'alveo è stata studiata da Surian (1999). Questo studio ha evidenziato il fatto che gli interventi antropici hanno provocato significative variazioni sia nel regime dei deflussi che nel trasporto solido. In particolare risultano profondamente modificati i deflussi di magra mentre il trasporto solido risulta notevolmente diminuito.

Notevole influenza nel bilancio sedimentologico del bacino ha avuto anche il profondo cambiamento di uso del suolo avvenuto in questo intervallo temporale. E' da evidenziare infatti come, a partire dagli anni sessanta e lungo tutta la seconda metà del ventesimo secolo l'intero territorio montano del bacino abbia subito un forte spopolamento accompagnato dall'abbandono, in molte aree quasi totale, delle attività agricole

tradizionali. In molte aree quindi si è registrato un notevole aumento delle superfici forestale che hanno fatto diminuire gli apporti di sedimenti dai versanti.

Nei primi decenni del XX secolo si evidenziò la necessità di incrementare la produzione idroelettrica e di sviluppare l'irrigazione. L'ottenimento di questi risultati era visto come obiettivo primario e di vitale importanza per lo sviluppo economico e proprio per questo la quasi totalità degli interventi vennero fatti senza valutare le conseguenze negative che essi potevano comportare, nell'immediato e nel medio e lungo periodo.

Relativamente ai problemi che interessano la zona montana del bacino, un'importanza sempre maggiore, anche nell'ottica dei requisiti minimi di qualità dei corsi d'acqua imposti dalla Direttiva Quadro Acqua 2000/60/CE stanno assumendo i problemi relativi al mantenimento di adeguate portate minime a valle delle derivazioni. A tutti questi problemi si aggiungono lo sviluppo, negli ultimi anni, di nuovi interessi legati in particolare alla fruizione turistica degli specchi d'acqua di alcuni serbatoi costruiti per l'utilizzazione idroelettrica ed irrigua. Tutti i problemi nascono dal fatto che il fiume Piave è un fiume molto ricco d'acqua. Le precipitazioni medie annue nel suo bacino, che a Nervesa sottende una superficie di circa 3900 km², sono molto abbondanti: si può stimare che esse siano mediamente nell'ordine dei 1350 mm, con un afflusso meteorico di circa 5,2 miliardi di m³ all'anno (D'Alpaos e Dal Pra, 1996). A Soverzene la portata media naturale del Piave, infatti, è di oltre 50 m³/s, mentre a Segusino, la portata media (includendo le portate deviate verso il Livenza e le portate derivate a uso agricolo) sale oltre i 115 m³/s e quella minima non scende mai al di sotto dei 50-60 m³/s. Questi dati sono da considerare con attenzione per comprendere l'origine dei problemi attuali del Piave, nel cui bacino la rete idrografica naturale si accompagna ad una non meno importante rete di canali e gallerie artificiali. Tale rete, interconnetto fra loro numerosi serbatoi costruiti per le utilizzazioni elettro-irrigue, consente di regolare in modo spinto i deflussi del fiume e dei suoi principali affluenti (Dal Paos, 2000).

Accanto alla rilevante produzione di energia elettrica, il sistema di canali e serbatoi del Piave e del Cordevole consente di sostenere l'irrigazione di circa 100.000 ettari nella pianura tra il Piave stesso ed il Livenza. Verso il Livenza, in particolare, attraverso il sistema di centrali del Fadalto e del Meschio è deviate una parte considerevole dei deflussi del Piave, derivati a Soverzene e accumulati nel sottostante lago di Santa Croce. La diversione di portata, che supera i 40 m³/s, è determinata dalla necessità di rispettare le

concessioni irrigue dei Consorzi Riuniti del Basso Piave e Sinistra Piave. Non meno importanti sono i benefici che le portate derivate del Piave comportano per buona parte della pianura trevigiana, che è irrigata attraverso una fitta rete di canali artificiali, con le importanti derivazioni di Pederobba e Nervesa. In particolare la sistemazione idroelettrica del fiume Piave rappresenta un caso emblematico di sfruttamento pressoché integrale di un grande corso d'acqua (Da Canal, 2006).

L'impatto principale che le opere di derivazione hanno sulla parte montana del bacino del Piave è fondamentalmente la variazione del regime dei deflussi liquidi e del trasporto solido (Kondolf, 1997). In particolare, si assiste in molti periodi dell'anno alla mancanza o alla presenza di portate irrisorie lungo grandi tratti del reticolo idrografico. Rispetto al regime delle portate solide i serbatoi artificiali, intercettando in maniera sostanziale (Surian, 2006) il materiale proveniente da monte, interferiscono fortemente nell'evoluzione morfologica degli alvei a valle dei serbatoi. I deflussi idrici risultano quindi alterati, soprattutto per quanto riguarda i valori minimi mentre il trasporto solido lungo il corso è diminuito notevolmente in ragione del fatto che le dighe e le traverse poste lungo il corso del F. Piave e dei suoi affluenti trattengono gran parte dei sedimenti prodotti da oltre la metà del bacino idrografico (Surian, 2006).

I principali elementi influenzati dalla riduzione e rarefazione delle piene e delle morbide e dalla riduzione del trasporto solido sono (Kondolf, 1997; Brandt, 2000): 1) il bilancio sedimentologico; 2) l'evoluzione geomorfologica dell'alveo, ed in particolare la ridistribuzione lungo il letto del materiale alluvionale e l'elaborazione del sedimento trasportato ed abbandonato dagli affluenti in corrispondenza della confluenza con il corso principale; 3) il ripascimento delle spiagge marine; 4) la dinamica della vegetazione all'interno dell'alveo attivo; 5) la ricarica delle falde freatiche in zona pedemontana; 6) il mantenimento delle zone umide; 7) la capacità di autodepurazione del fiume, la quale è legata alle condizioni dell'alveo; 8) la sopravvivenza di quella fauna ittica (salmonidi) che ha bisogno di adeguate velocità, profondità e qualità dell'acqua, di zone rifugio offerte da una variegata morfologia del letto e di un fondo ciottoloso/ghiaioso pulito, non impermeabilizzato da depositi fini per la schiusa delle uova (Da Canal, 2006).

I rilievi inerenti il monitoraggio del materiale legnoso sono stati effettuati tra Ponte nelle Alpi e Busche, due località in provincia di Belluno (fig. 3.2) tratto caratterizzato da caratteristiche morfologiche diverse dell'alveo. Il lavoro di campo ha riguardato due aspetti

del problema: il primo riguardante il trasporto del materiale legnoso e il secondo la quantificazione e caratterizzazione del materiale legnoso in rispetto alla morfologia del tratto studiato.

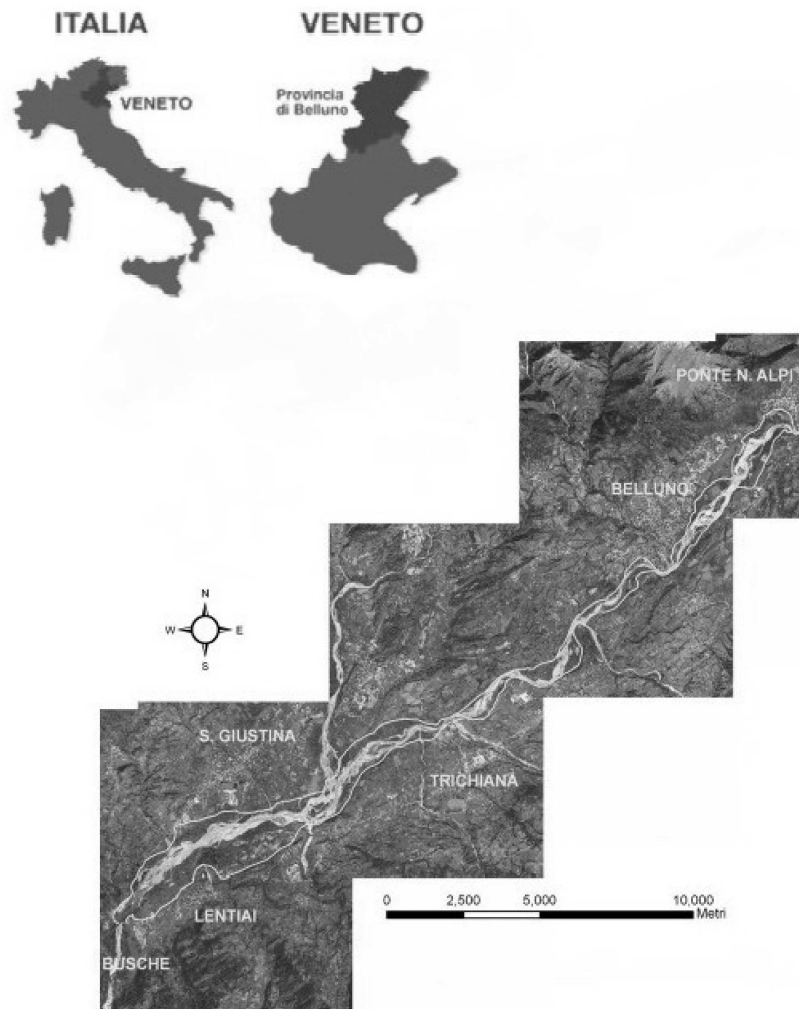


Figura 3.2 Tratto del Fiume Piave studiato compreso tra Ponte nelle Alpi e Busche (Belluno).

In merito al monitoraggio del trasporto di materiale legnoso lo stato dell'arte fin qui riportato ha messo in evidenza la scarsità di lavori specifici effettuati. Questo ha portato a sperimentare una metodologia che permettesse di valutare il movimento di tronchi in una zona pedemontana dove è più probabile il galleggiamento come modalità, a differenza di



Figura 3.4 Praloran, canale centrale nel tratto di installazione dei trasmettitori.



Figura 3.5 Praloran, barra attiva nel tratto di installazione dei trasmettitori.

Il tratto in cui sono stati scelti i tronchi è stato individuato tra due sezioni misurate (figura 3.6).

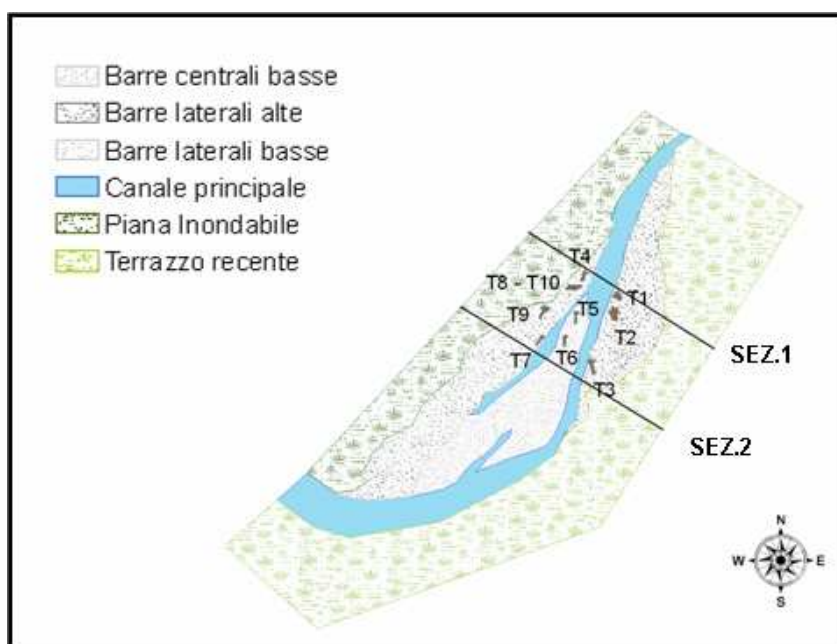


Figura 3.6 Sezioni misurate nel tratto di Praloran.

Lo studio inerente la caratterizzazione e quantificazione del materiale legnoso ha interessato un tratto del fiume Piave compreso tra Ponte nelle Alpi e Busche, due abitati in provincia di Belluno, come già anticipato. La zona è stata scelta in quanto compresa tra due sbarramenti che risultavano utili come ideali sezioni di entrata e di uscita di una parte del canale in cui valutare il flusso di materiale legnoso. All'interno di questo tratto sono state individuate delle aree (fig. 3.7) in cui è stato misurato il materiale legnoso presente e una di queste è la stessa zona dove sono stati installati i trasmettitori.

L'area drenata del bacino chiuso a Busche è di circa 3200 km², e l'alveo è caratterizzato da una tipologia morfologica predominante a canali intrecciati (*braided*) presentando comunque alcune zone in cui l'andamento è di tipo *wandering* e in altre a barre alternate: in questa parte il corso d'acqua comincia ad assumere larghezze dell'ordine dei 500 m.

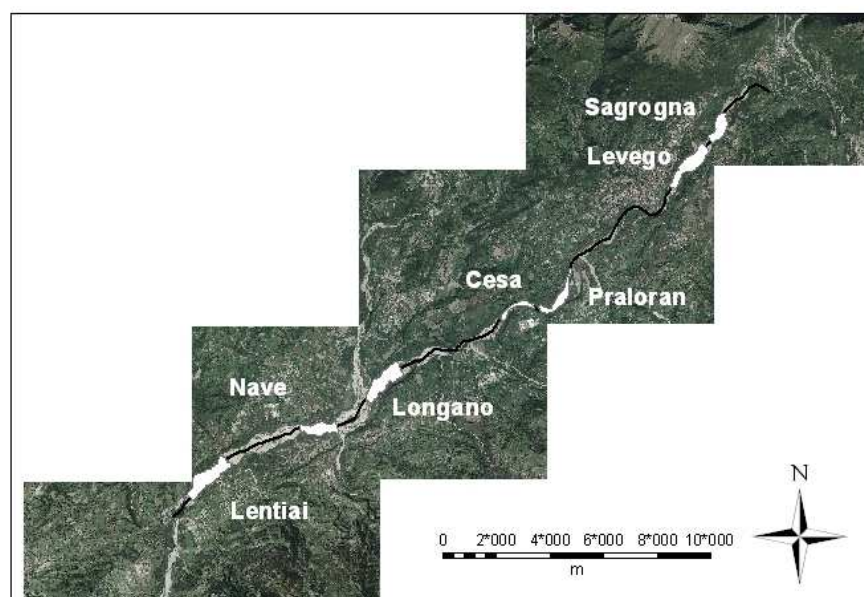


Figura 3.7 Zone studiate all'interno del tratto in esame.

La vegetazione riparia presente all'interno della fascia di pertinenza fluviale è composta prevalentemente da popolamenti ascrivibili al salici-populeto, edificati in prevalenza da *Salix alba*, *Salix eleagnos* e *Populus nigra*, spesso con presenza di *Robinia pseudoacacia*. In alcune aree, soprattutto nella parte più a monte del tratto, si osserva la presenza di conifere tra cui pini (*Pinus sylvestris*), abeti rossi (*Picea abies*), ed altre latifoglie quali *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus* e *Quercus pubescens*.

Lo studio ha interessato un'area compresa all'interno della fascia di pertinenza fluviale definita mediante criteri puramente geomorfologici (Surian, 1998). Il corridoio fluviale così definito ha una lunghezza di circa 29 km e larghezze comprese tra i 100 ed i 2000 m. Il tributario maggiore del fiume Piave all'interno dell'area risulta essere il torrente Cordevole che, con un bacino di 867 km², risulta essere anche il maggior tributario a scala di bacino idrografico. Numerosi risultano essere lungo il tratto in esame gli affluenti di sinistra; da ricordare in particolare i torrenti Cicogna, Limana, Ardo, Terche e Rimonta che scendono dalle Prealpi Bellunesi con direzione generalmente SE – NO. Ad eccezione del Cordevole e dell'Ardo di Belluno pochi e di modeste dimensioni risultano essere in questo tratto gli affluenti di destra; meritano di essere ricordati il torrente Gresal, che confluisce

nel Piave nei pressi di Sedico e il torrente Veses che confluisce nel Piave nei pressi di Santa Giustina (Da Canal, 2006).

All'interno del tratto di studio sono stati individuati sei sottotratti scelti in base alle diverse caratteristiche morfologiche del fiume e per la loro facilità di accesso. Nelle figure (3.8 – 3.10) sono riportate le zone dove sono stati effettuati i rilievi.



Figura 3.8 Zone studiate nel tratto presso Levego e Sagroga.

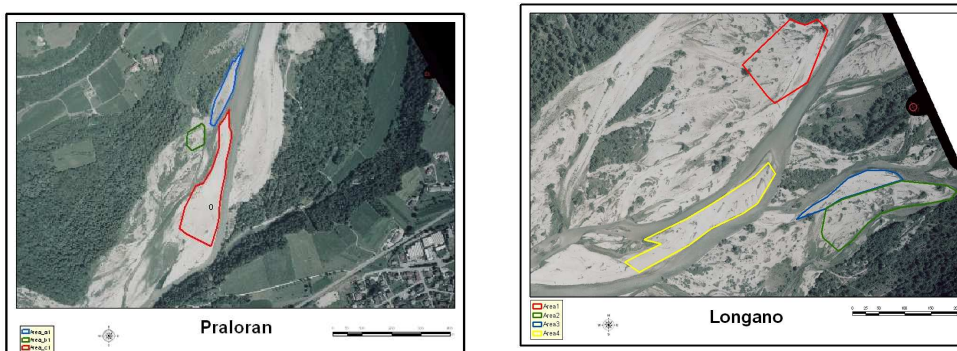


Figura 3.9 Zone studiate nel tratto presso Praloran e Longano.

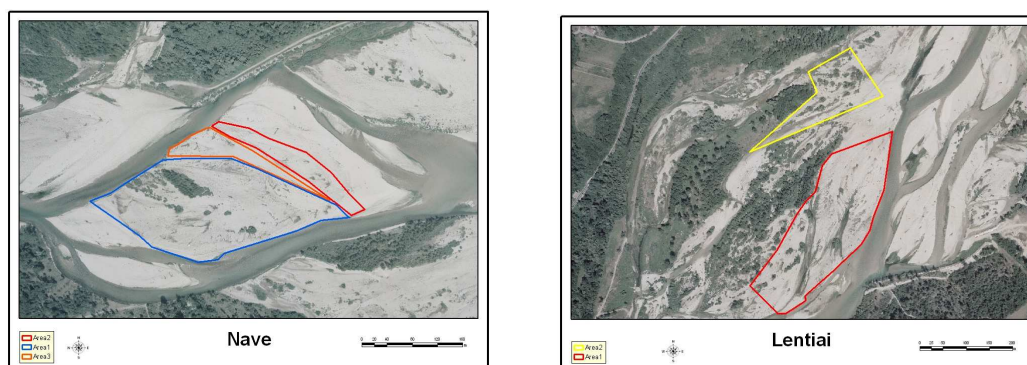


Figura 3.10 Zone studiate nel tratto presso Nave e Lentiai.

Una zona ulteriore, corrispondente all'abitato di Cesa (Belluno), è stata analizzata in quanto relativa ad un tratto di caratteristiche morfologiche diverse dagli altri come verrà di seguito spiegato.

3.2.2 Fiume Magra

Il bacino idrografico del Fiume Magra (fig. 3.11) è situato nell'Italia centro-settentrionale ed è delimitato a nord dallo spartiacque appenninico che lo separa dal bacino del fiume Po; a ovest confina con i bacini liguri del Graveglia-Entella e del Gromolo-Petronio, a sud-ovest con i bacini costieri dello spezzino, a sud-est con le Alpi Apuane e i bacini dei Torrenti Carrione e Frigido; a nord-est infine è delimitato dallo spartiacque con il Fiume Serchio.

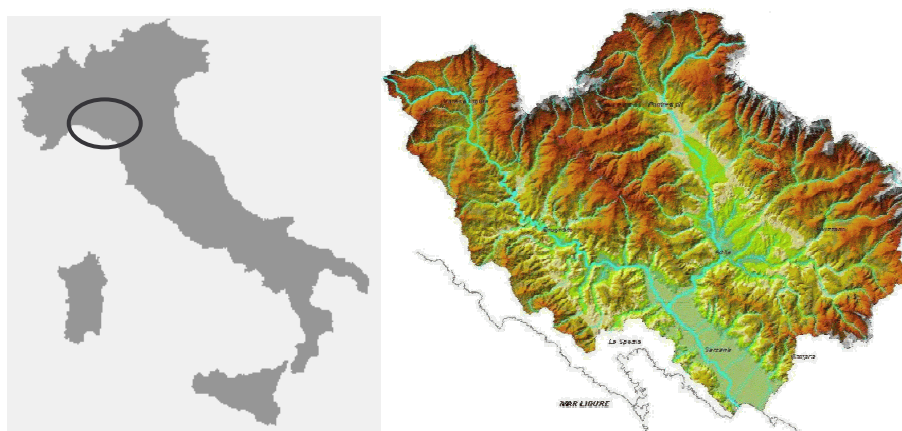


Figura 3.11 Bacino del Fiume Magra.

Il Fiume Magra sfocia nel Mar Ligure poco a est di Punta Bianca, in territorio spezzino vicino al confine regionale toscano; la lunghezza dell'asta del Fiume Magra è di circa 70 km. Il territorio di competenza dell'Autorità di bacino ha una superficie complessiva di circa 1715 km² di cui 725.1 km² nella Regione Liguria e 988.5 nella Regione Toscana ed è inoltre strettamente connesso con la piana costiera dello stesso Fiume Magra. Dal punto di vista amministrativo il Bacino del Fiume Magra comprende Comuni di quattro province (GE, SP, MS, LU), anche se la Provincia dell'Spezia e quella di Massa Carrara ne costituiscono da sole la quasi totalità del territorio. Il territorio del bacino risulta prevalentemente montuoso e collinare, in buona parte boscato (oltre due terzi della superficie); sono presenti aree pianeggianti di fondovalle e, soprattutto, dalla confluenza Magra-Vara, fino alla foce. Quest'ultima rappresenta, tra l'altro, l'area più densamente popolata ed è quindi quella in cui si concentrano le maggiori situazioni di rischio idraulico, dovute anche al regime spiccatamente torrentizio del corso d'acqua, con prolungate magre estive seguite da forti ed improvvise piene, concentrate soprattutto nel periodo autunnale e primaverile.

3.2.3 Fiume Ain

Il Fiume Ain nasce nelle montagne Jura della Francia e percorre un tratto di 200 chilometri prima di sfociare nel Rodano, a 37 km a monte di Lyon (Francia). Il bacino del Fiume Ain (fig. 3.12) occupa una superficie di 3762 km² ed ha una portata media annuale pari a 130 m³/s che contribuisce al 20% del flusso idrico del Rodano quando si immette. Il fiume è genericamente caratterizzato da basse portate durante l'estate, con picchi nel tardo inverno mentre la maggior parte delle piene si verificano tra Ottobre e Marzo. La portata massima è tuttavia regolata da una serie di 5 dighe per impianti idroelettrici. La più a monte, diga di Vouglans, si trova nella regione di Jura, fu costruita nel 1968 e controlla il 31% del bacino. La piena maggiore risalente a prima dell'anno di costruzione della diga è stata stimata intorno ai 1750 m³/s tramite ricostruzione della serie storica dal 1913 al 1977. Negli ultimi 50 anni le maggiori piene sono avvenute nel febbraio 1990 (1770 m³/s) e nel febbraio 1999 (1510 m³/s). Il letto del fiume è caratterizzato da materiale granulometrico che deriva dalle sponde e dai terrazzi circostanti depositatisi durante le ultime glaciazioni. La larghezza media del canale attivo è di 127 m con un massimo di 800 m alla confluenza

con il Rodano. Prima del 1950 la zona della piana alluvionale del basso fiume Ain era utilizzata per il pascolo e il recupero di legna da ardere, nelle ultime decadi, tuttavia, l'incremento della produzione agricola estensiva ha allontanato gli insediamenti umani dalle zone ripariali con conseguente rimboschimento delle zone ripariali. Questo fenomeno ha favorito anche la crescita di foresta sulle barre all'interno del canale

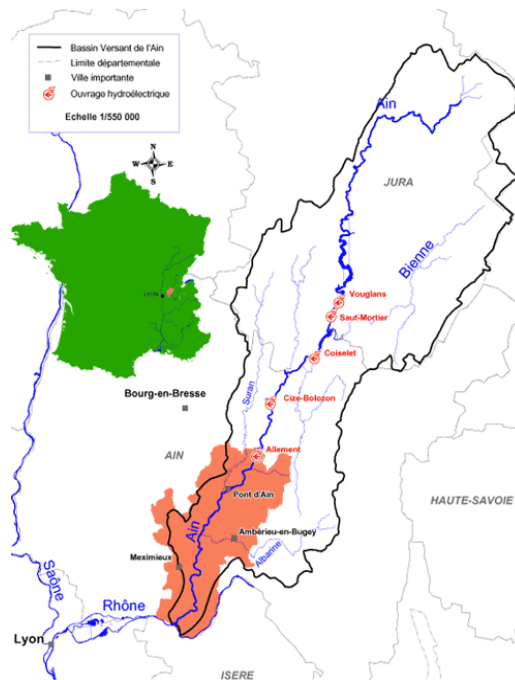


Figura 3.12 Bacino del Fiume Ain.

Il sito studiato è situato in corrispondenza del tratto di Mollon (Lyon, Rhône-Alpes, Francia) come individuato in figura 3.13. Questo specifico tratto è caratteristico per la sua conformazione a meandro e per la presenza di un canale secondario in passato attivo che in seguito, a causa del controllo nel regime idraulico si era disattivato. Attualmente, in seguito ai fenomeni qui descritti, si è osservata una riattivazione del canale con presenza di tirante idrico.

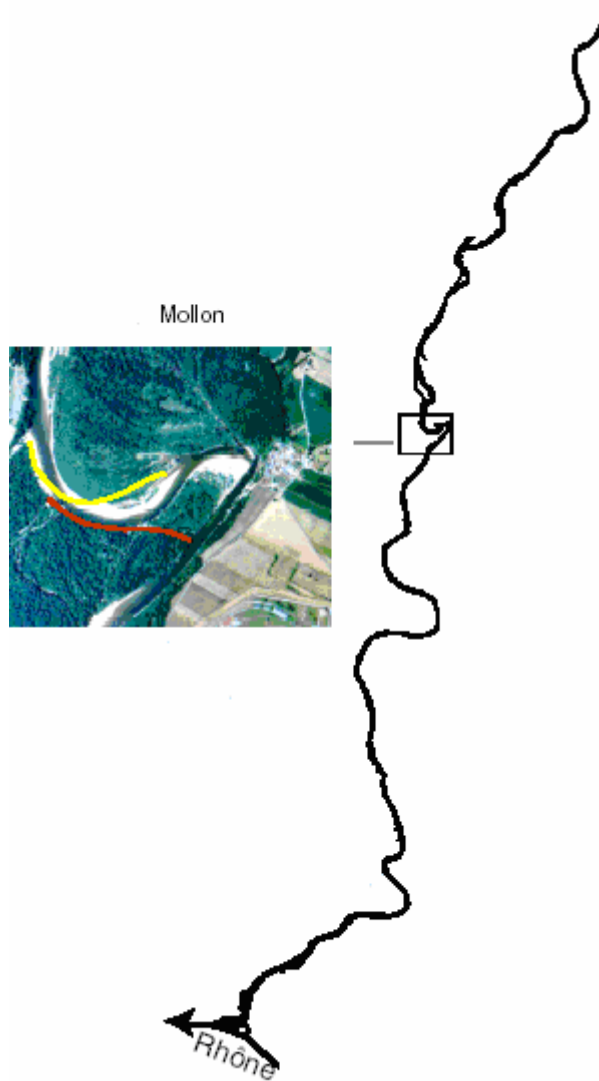


Figura 3.13 Meandro in corrispondenza dell'abitato di Mollon (Lyon, Francia).

3.3 Materiali e metodologie

La ricerca, come spiegato precedentemente, ha riguardato aspetti diversi del fenomeno. Si riportano di seguito i materiali e la strumentazione utilizzata durante il periodo di ricerca svolto.

3.3.1 Studio delle caratteristiche fisiche dei campioni di materiale legnoso raccolto

Lo studio delle caratteristiche fisiche del materiale legnoso è stato suddiviso in due momenti: una prima parte ha riguardato il raccoglimento di campioni di materiale legnoso all'interno dei tre corsi d'acqua precedentemente descritti e una seconda parte di analisi presso il laboratorio del CNR'S di Lyon, Francia. La scelta è avvenuta sulla base di somiglianza morfologica tra i fiumi, inoltre si è cercato di prelevare i campioni in periodi dell'anno simili in modo da poter assumere come ipotesi condizioni uguali di temperatura e umidità del luogo di prelevamento.

I campioni prelevati sono circa 80 per ogni fiume e sono stati scelti in modo da avere diverse gradi di decomposizione e scegliendo solamente Pioppi o Salici (fig. 3.14). La scelta della specie è nata dalla reperibilità di tali specie in tutti e tre i fiumi.



Figura 3.14 Taglio dei campioni nel Fiume Piave (Belluno, Italia).

Una volta prelevati i campioni sono stati portati in laboratorio e sono stati lasciati 24 ore in acqua per poterli poi pesare e misurarne il volume (fig. 3.15). In seguito sono stati lasciati seccare in stufa (fig. 3.16) ad una temperatura di 105°C fino allo stabilizzarsi del peso; al termine dell'operazione è stata calcolata la densità.

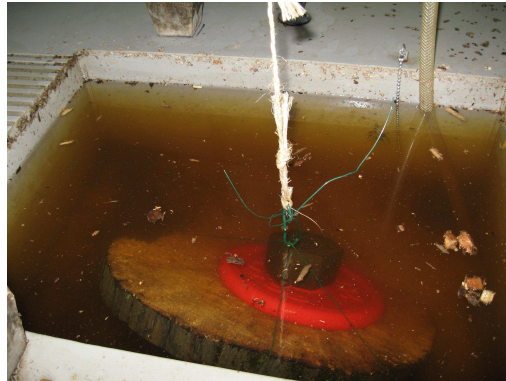


Figura 3.15 Valutazione del volume di un campione, Laboratorio Bron del CNRS (Lyon, Francia).



Figura 3.16 Stufa essiccatrice dei campioni, Laboratorio Bron del CNRS (Lyon, Francia).

In seguito si è deciso per una suddivisione dei campioni secondo sette classi di decomposizione. Si riporta in tabella 3.1 la classificazione scelta sulla base di caratteristiche qualitative evidenti.

Tabella 3.1 Classi di decomposizione del materiale prelevato.

	perdita di massa	morfologia	corteccia rimasta
Classe 0	(--)	alterata +	0%
Classe 1	(--)	alterata	0%
Classe 2	(-)	alterata	0%
Classe 3	(-)	alterata	0%
Classe 4	(-)	nessuna	10 - 50 %
Classe 5	nessuna	nessuna	0%
Classe 6	nessuna	nessuna	20 - 60 %
Classe 7	nessuna	nessuna	100%

L'osservazione tramite microscopio di una superficie lisciata dei vari campioni ha permesso la verifica della specie (fig. 3.17). Il riconoscimento in campo, infatti, è risultato molto difficile sia perché in seguito a trasporto gli alberi hanno perso rami e foglie sia perché, soprattutto nel caso di tronchi molto decomposti, spesso non è presente nemmeno la corteccia. Si perdono, dunque, nel caso di materiale legnoso in un corso d'acqua, tutti quegli elementi che abitualmente rendono possibile il riconoscimento in campo. L'identificazione risulta facile per quei tronchi che sono caduti in alveo in seguito a erosione e non hanno subito trasporto, se non per un breve tratto.



Figura 3.17 Visualizzazione degli anelli nel riconoscimento delle specie, Laboratorio Bron del CNRS (Lyon, Francia).

L'osservazione tramite microscopio ha permesso anche il conteggio degli anelli in seguito al quale è stato calcolato il coefficiente di crescita definito come il rapporto tra gli anni dell'albero e il diametro.

$$G = \frac{\text{anni}}{\text{diametro(cm)}} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Grazie ai risultati gentilmente concessi dal *Centre de datation par le Radiocarbone Université Claude Bernard Lyon* dove è stata effettuata l'analisi del Carbonio 14 eseguita per la datazione della morte di alcuni campioni è stato possibile valutare anche una corrispondenza tra l'anno previsto di morte e la densità per otto elementi per il fiume Magra e quindici per il fiume Ain.

Un'ultimo esperimento ha riguardato la rilevazione della resistenza a penetrazione tramite un penetrometro, "Panda resistance" (fig. 3.18), utilizzato prima in campo e poi in laboratorio a secco. Si è notata una netta differenza di reazione da parte del materiale chiaramente a causa della maggiore umidità che questo presenta in campo. Tuttavia la scelta della ripetizione dell'esperimento era necessaria per poter effettuare un confronto con i campioni degli altri due fiumi, per i quali non era stato possibile rilevare la resistenza in campo.



Figura 3.18 Rilevamento della resistenza a penetrazione in campo, Fiume Ain, (Lyon, Francia).

3.3.2 Trasmettitori di radiofrequenza

La scelta dell'utilizzo dei trasmettitori è stata effettuata principalmente per dei tronchi situati in zone più pianeggianti dove risulta più semplice la possibilità di trasporto con portate ordinarie. La strumentazione utilizzata consiste in 10 trasmettitori di forma cilindrica di dimensione pari a 2 cm di diametro e di lunghezza pari a 7 cm della ditta Telonics (www.telonics.com) (fig. 3.19) caratterizzati ciascuno da una propria frequenza e aventi un range variabile tra i 148.000 e i 148.500 Mhz. Ogni trasmettitore è stato impiantato all'interno di grossi elementi legnosi ($L > 2$ m, $\phi_{\min}=10-15$ cm), possibilmente con presenza di ceppaia. I trasmettitori sono stati progettati impermeabili e studiati al fine di resistere ad urti e a temperature molto basse. Oltre all'installazione dei trasmettitori è stata effettuata un'operazione di "etichettatura" (**tagging**) con **targhe metalliche** (fig. 3.19) per poter classificare le diverse parti del tronco e poterle in seguito riconoscere in caso di rottura dei tronchi. Una **ricetrasmittente** TR-4 Telonics (fig. 3.20) con l'ausilio di un'**antenna**, RA-1, (fig. 3.21), consente di rilevare la presenza di questi elementi in alveo rendendo possibile il ritrovamento degli stessi in seguito alla mobilitazione causata da piena. Il ricevitore è controllato da un microprocessore ed è fornito di 100 canali programmabili ognuno con una frequenza appartenente all'intervallo di valori consentito. L'antenna è direzionabile e collegabile al ricevitore tramite cavo coassiale.

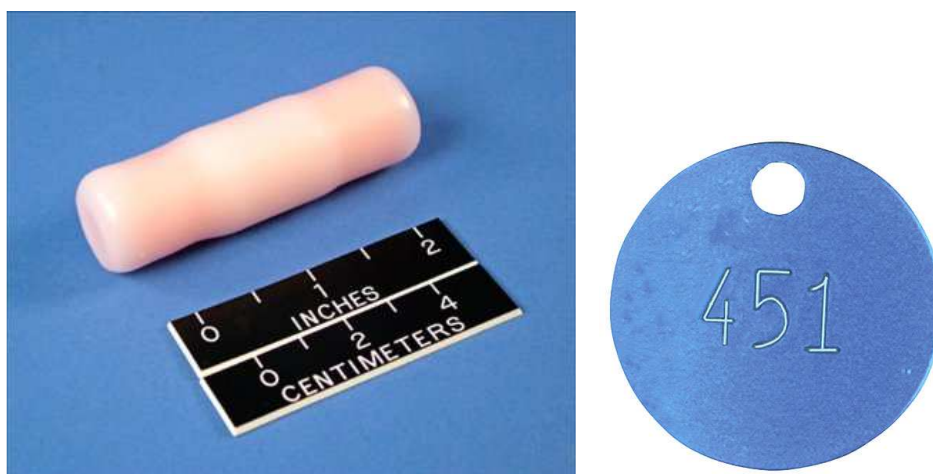


Figura 3.19 Radiotrasmettitori, (Telonics), (a) e tipologia di atg utilizzato durabte i rilievi.



Figura 3.20 Ricetrasmittitore TR-4, (Telonics).



Figura 3.21 Antenna RA-1 e cavo assiale, (Telonics).

Oltre all'uso dei trasmettitori diversi strumenti sono stati utilizzati per misurare le caratteristiche geometriche del materiale legnoso considerato e le sezioni della zona. Nello specifico per misurare le due sezioni che delimitano il tratto in cui sono stati installati i trasmettitori è stato usato un autolivello con distanziometro laser; per il rilievo in alveo del materiale legnoso, invece, è stato utilizzato un cavalletto dendrometrico, una cordella e un GPS.

All'interno di ogni zona sono state misurate due sezioni che delimiteranno il tratto entro il quale sono stati scelti i 10 tronchi in cui porre i trasmettitori e le cui caratteristiche sono riportate nelle figure 3.22 - 3.23.

In seguito ad una attenta perlustrazione sono stati scelti 10 tronchi, quanto il numero dei radiotrasmettitori disponibili. In ognuno è stato praticato un foro per contenere il trasmettitore in seguito chiuso con del silicone. Sono stati scelti tutti tronchi singoli tranne il tronco 8 sotto il quale se ne trovava un altro anch'esso misurato e segnalato, ma in cui non è stato posto alcun trasmettitore. Su di ogni tronco sono state disposte delle tacche metalliche numerate per aiutare, in seguito a movimento, il riconoscimento del tronco o del pezzo nel caso di rottura.

Il tipo di tronchi in cui sono stati inseriti i trasmettitori è legname che era già presente in alveo. La scelta dei tronchi è stata fatta sulla base della loro dimensione e della posizione che occupano all'interno dell'alveo. Le zone considerate sono le due sponde e una barra centrale, il tutto compreso tra due sezioni trasversali di cui è stata misurata la conformazione. La scelta di tali posizionamenti è stata fatta in maniera non casuale al fine di poter valutare se lungo una certa sezione esistono dei punti preferenziali che influenzano il trasporto o se un tronco in una barra può essere elemento di cattura per altri sedimenti trasportati.

Si tratta di legname molto umido, probabilmente a causa del tempo che sono rimasti in alveo. La maggior parte dei tronchi ha una lunghezza sugli 8-9 metri e un diametro di 15-20 cm, quasi tutti con ceppaia e rami. Solo due hanno una forma assimilabile a quella di un cilindro.

Nella tabella 3.2 sono riportate le caratteristiche dei tronchi e il loro posizionamento all'interno del canale; nelle foto successive (3.24 – 3.28) sono mostrati i vari tronchi nel momento del posizionamento dei trasmettitori.

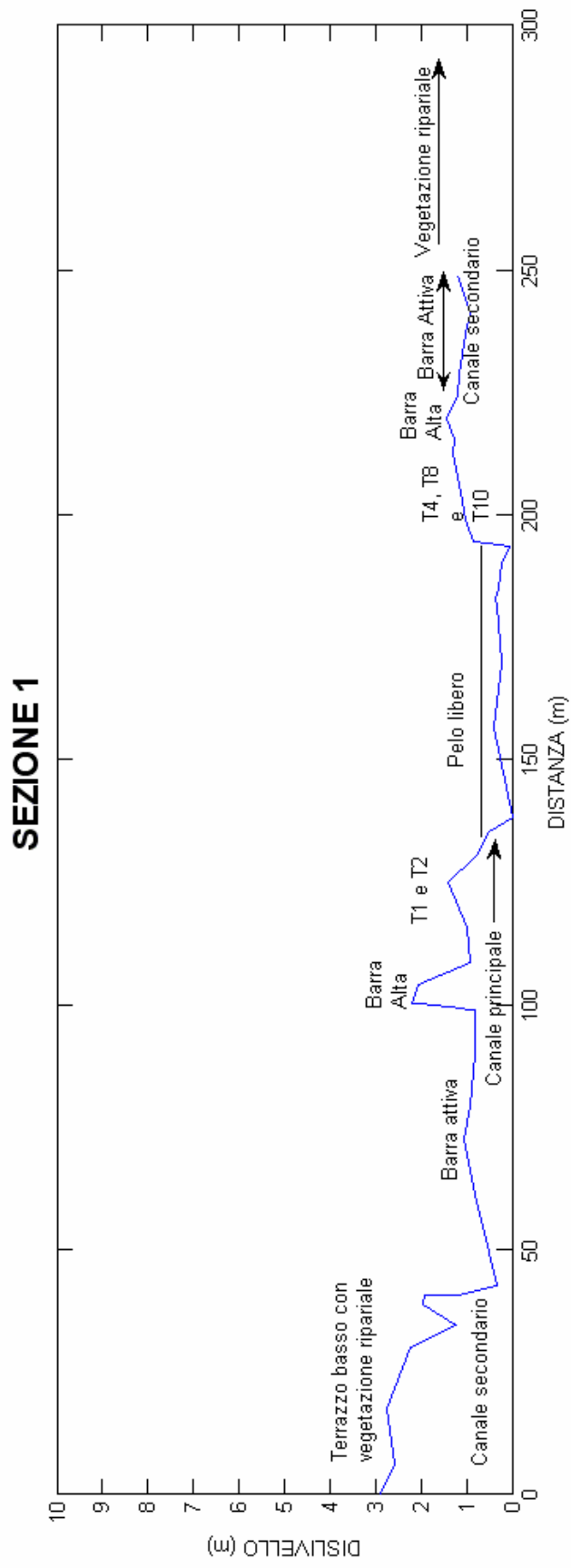


Figura 3.22 Sezione 1 all'interno del tratto di Praloran (Belluno) dove sono stati installati i trasmettitori.

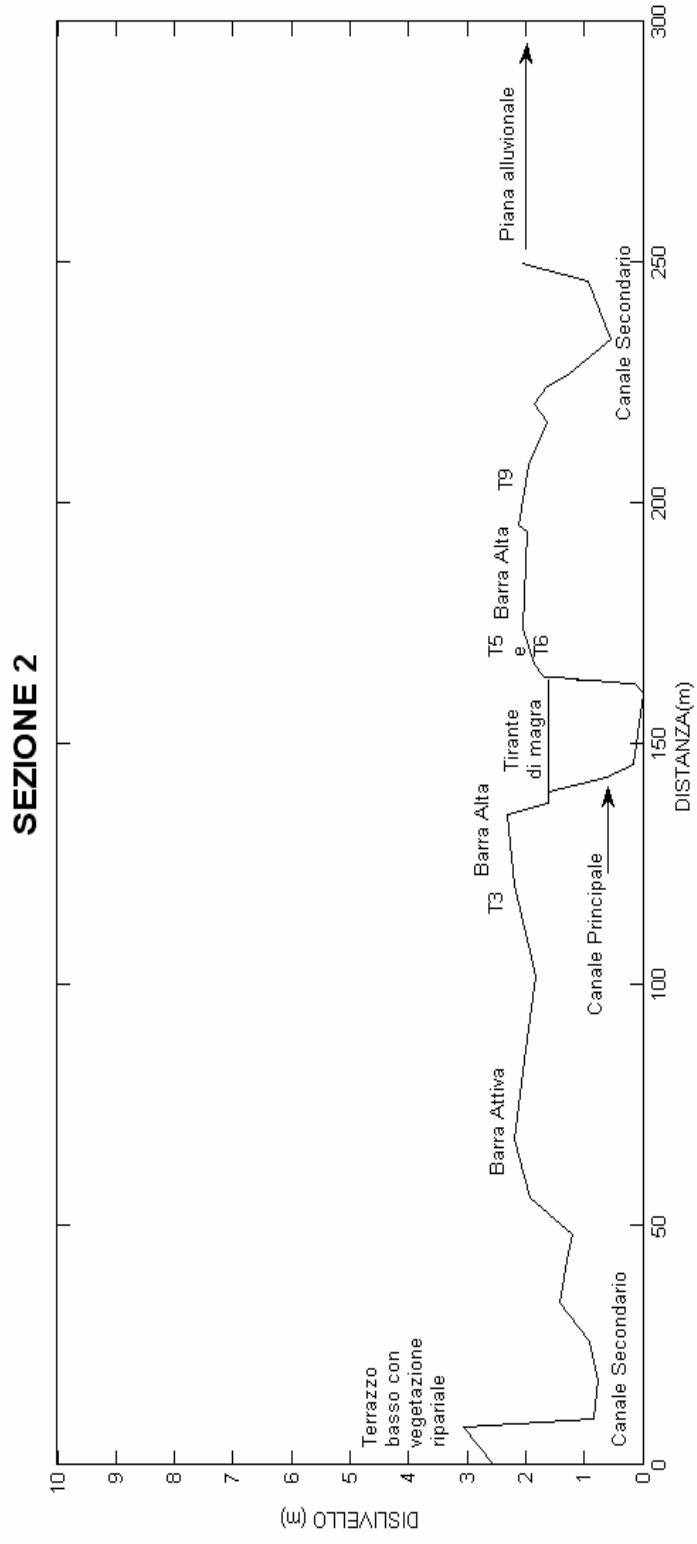


Figura 3.23 Sezione 2 all'interno del tratto di Praloran (Belluno) dove sono stati installati i trasmettitori.

Tabella 3.2 Caratteristiche principali dei tronchi in cui sono stati installati i trasmettitori.

LOG	Lenght (m)	Diameter (m)	Location	Rootwad
T1	10 (1.5)	0.30	sinistra	si
T2	11(2)	0.40	sinistra	si
T3	10.7	0.36	sinistra	si
T4	9.35	0.42	destra	si
T5	17.6	0.24	barra centrale alta	si
T6	13	0.15	Barra centrale alta	si
T7	14.45	0.18	destra	si
T8	9	0.12	destra	si
T9	4.9	0.24	destra	si
T10	4.75	0.31	destra	no



Figura 3.24 Tronchi 1 e 2.



Figura 3.25 Tronchi 3 e 4.



Figura 3.26 Tronchi 5 e 6



Figura 3.27 Tronchi 7 e 8.



Figura 3.28 Tronchi 9 e 10.

3.3.3 Rilievi di campo

La caratterizzazione della tipologia di legname presente è avvenuta mediante una serie di schede di rilevamento sviluppate da Rinaldi et al., (in preparazione), derivanti da quelle originariamente proposte da Betti et al., (2006).

Le schede utilizzate sono cinque. Le prime due si riferiscono alla descrizione morfologica del tratto considerato, le altre sono relative al legname. In particolare, la scheda 3 si riferisce alla descrizione degli accumuli (*jam*), la scheda 4 ai singoli elementi sia che appartengano ad accumuli che si presentino isolati (*single*), ed infine la scheda 5 cerca di valutare l'interazione tra legno, flusso e sedimenti, ovvero gli effetti sulla morfologia e idrodinamica locale.

Sono stati misurati – tramite cavalletto dendrometrico e cordella metrica – tutti gli elementi legnosi (circa 200) con diametro maggiore di 10 cm e tutti gli accumuli aventi almeno un elemento di tali dimensioni, registrandone la localizzazione mediante GPS collegato a computer palmare, presenti all'interno di aree delimitate anch'esse con punti GPS. Per valutare l'orientamento degli elementi, si è fatto riferimento al nord ricorrendo all'utilizzo di una bussola a lente. Si è inoltre annotata la posizione delle radici all'interno dell'alveo (verso monte, verso valle, verso destra/sinistra idrografica), e si è identificata la collocazione degli elementi/accumuli all'interno dell'alveo distinguendo tra varie superfici morfologiche all'interno dell'alveo attivo (barra alta, bassa, di transizione; canali secondari, isole pioniere). Un'ulteriore aspetto dei rilievi di campagna è stata la valutazione delle eventuali interazioni tra flusso e sedimenti nelle vicinanze dell'accumulo, ovvero le conseguenze morfologiche quali pozze di scavo o *patches* di sedimento fino depositato in seguito alla presenza del legname.

Un'ultima fase della campagna ha riguardato il rilievo di isole pioniere presenti nei tratti di Nave, Levego e Lentiai per cui sono state individuate caratteristiche geometriche e di composizione vegetazionale.

In **Appendice A** si riportano le schede utilizzate per il materiale legnoso.

3.3.4 Fotointerpretazione

Lo studio tramite rilievi di campo del materiale legnoso nel caso del Piave ha causato delle problematiche di tipo logistico, come già anticipato, di conseguenza, si è deciso di ricorrere allo studio di foto aeree. Le riprese aeree sono state commissionate *ad hoc* alla Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma. Il volo (scala 1:8000, risoluzione nominale a terra pari a 11 cm) è stato effettuato nel mese di luglio 2006 con camera analogica, ed i singoli fotogrammi sono stati scannerizzati a 1800 *dpi* dalla Compagnia stessa. L'ortorettificazione delle foto è stata quindi eseguita mediante software ArcGis 9.2 prendendo come riferimento la Carta Tecnica Regionale, imponendo una dimensione dei *pixel* pari a 10 cm.

Il lavoro svolto tramite fotointerpretazione è suddivisibile in tre fasi: una prima fase di individuazione delle unità morfologiche; una successiva fase di riconoscimento del materiale legnoso misurato all'interno delle zone rilevate in campo e una terza fase di estensione della caratterizzazione del materiale legnoso per tutta l'area individuata dalla foto nei tratti studiati. Nel complesso è stato considerato un tratto pari ad oltre la metà dei 30 km caratterizzanti il tratto Ponte nelle Alpi – Busche.

3.3.4.1 Individuazione delle unità morfologiche

Nel tratto tra Ponte nelle Alpi e Busche, il Piave comprende tratti con caratteristiche morfologiche variabili passando da andamento unicorsale a quello a canali intrecciati; le caratteristiche morfologiche specifiche dei singoli tratti sono riportati in tabella 3.3.

La distinzione delle unità morfologiche da considerare è stata scelta sulla base di caratteristiche riconoscibili tramite foto aeree e quindi principalmente sul colore del terreno e sulla presenza di vegetazione. Le barre sono state distinte tra laterali e centrali e in entrambi i casi tra alte e basse, intendendo per bassa una barra principalmente bianca, raramente caratterizzata da vegetazione se non erbacea. Chiaramente la scelta è stata basata sulla situazione presente in foto e quindi riferita al periodo vegetativo in cui sono state scattate le foto.

Tabella 3.3 Tabella caratteristiche morfologiche dei tratti analizzati tramite foto aerea

	Area (ha)	Tipologia morfologica
Sagrogna	45.89	<i>Wandering</i>
Levego	78.67	Canali intrecciati (2 canali attivi)
Praloran	46.65	<i>Wandering</i>
Cesa	23.17	Canale in fase di passaggio da <i>wandering</i> a barre alternate
Longano	85.41	Canali intrecciati (2-3 canali attivi)
Nave	51.37	Canali intrecciati (2-3 canali attivi)
Lentiai	97.73	Canali intrecciati (3 canali attivi)

La presenza di canali è stata distinta tra canale principale, canali secondari di dimensione non troppo grande in genere individuabili lateralmente in prossimità della piana alluvionale e a volte non caratterizzati da acqua e, infine, canali di morta, intendendo con questo termine tutti quei canali con acqua aventi dimensioni inferiori al canale principale. All'interno dei tratti sono state individuate le isole fluviali presenti suddividendole in base alla maturità dell'isola. Si è distinto tra: Isole Mature, Isole Giovani, Isole Pioniere e Isole Pioniere Composte. Le prime rappresentano delle isole stabilizzate con alberi maturi e con una densità di vegetazione molto alta; le Isole Giovani sono quelle ad uno stadio precedente per cui la vegetazione è ancora giovane, ma la sua distribuzione è tale da poter considerare le piante in relazione tra loro; l'Isola Pioniera è quella costituita da una singola pianta già matura che potrebbe generare in fase successiva un'isola stabile, mentre l'Isola Pioniera Composta è rappresentata da un gruppo di singole piante tra loro non troppo distanti. In generale per alcune isole si è scelto di raggrupparle in unica entità, come nel caso delle Isole Pioniere Composte, dove queste presentavano delle distanze inferiori alla lunghezza media dei tronchi presenti nel tratto (7 m) in quanto risultava una grandezza plausibile ai fini di analizzare la capacità di cattura che esse hanno

rispetto alla quantità di materiale legnoso nel corso d'acqua. Eccezione è stata fatta per quelle isole che presentavano una chiara differenza di origine.

3.3.4.2 Confronto dati di campo e dati ottenuti tramite fotointerpretazione

In seguito alla rettificazione delle foto relative ai tratti rilevati e alla caratterizzazione delle unità morfologiche studiate l'analisi è proseguita con l'individuazione nelle foto aeree dei tronchi misurati in campo. Individuate le aree considerate è stato misurato il diametro e la lunghezza di ogni singolo tronco e l'area degli accumuli presenti per poi valutare l'errore commesso dall'utente nel misurare attraverso una foto gli stessi elementi misurati in campo. L'individuazione dell'errore consentirebbe infatti di calibrare un metodo che permette di individuare un maggior numero di elementi in minor tempo. La misura tramite foto aeree presenta dunque dei vantaggi, ma sicuramente comporta anche delle scelte diverse nella modalità di quantificazione sia per la mancanza di una variabile in altezza, sia per la visuale ridotta in presenza di alta vegetazione. Di questi aspetti verrà comunque discusso nei prossimi capitoli.

3.3.4.3 Analisi della distribuzione del materiale legnoso all'interno del tratto studiato

Lo studio del materiale legnoso tramite foto aerea ha riguardato la misurazione tramite GIS delle caratteristiche (diametro, lunghezza, volume) dei tronchi e degli accumuli presenti in alveo (fig. 3.29). L'analisi del materiale legnoso ha riguardato tutte le aree non considerate in campo presenti all'interno delle foto rettificate permettendo di ottenere la creazione di un database di dati nettamente maggiore. Una zona ulteriore, corrispondente all'abitato di Cesa (Belluno), è stata analizzata in quanto relativa ad un tratto di caratteristiche morfologiche diverse dagli altri. La scelta dei tratti nelle foto aeree, infatti, è stata dettata, oltre che dal lavoro di campo, dalla possibilità di avere delle aree rappresentative di caratteristiche morfologiche diverse. La distribuzione del materiale legnoso è stata analizzata sia nell'area totale sia nei singoli tratti analizzati. In entrambi i casi si è valutata la distribuzione del materiale all'interno delle singole unità morfologiche presenti.

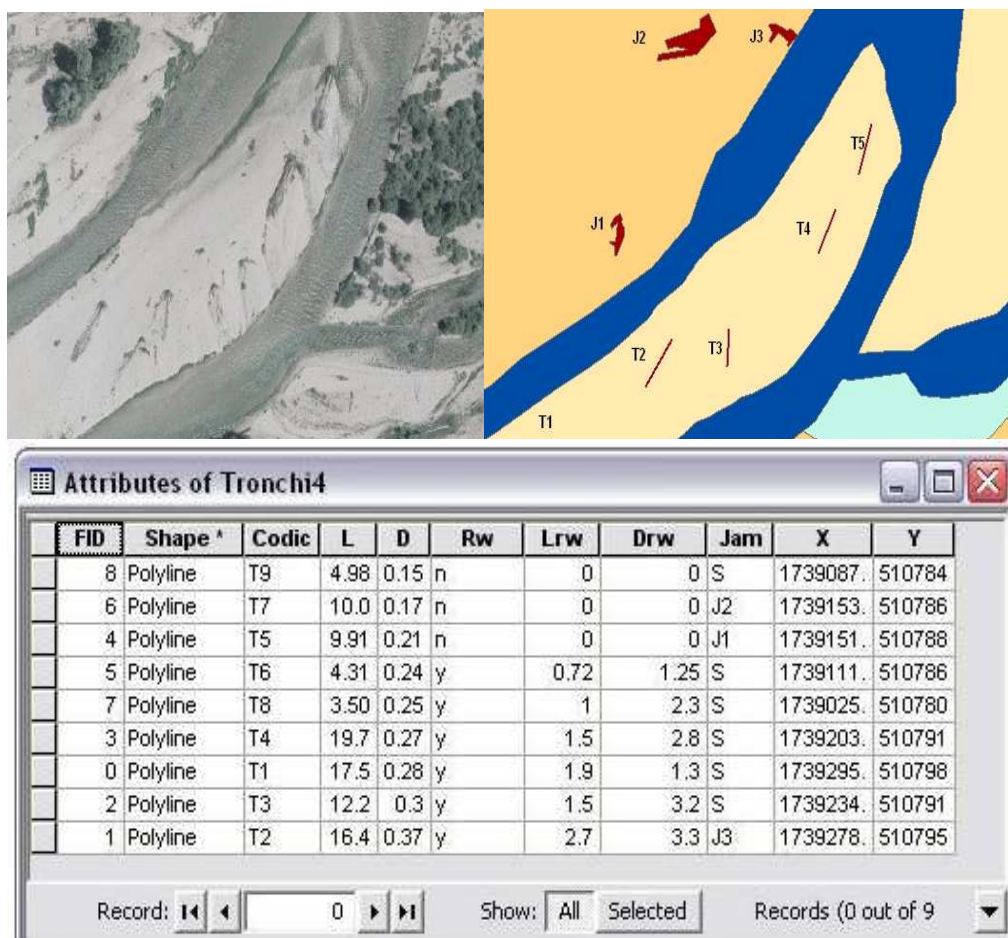


Figura 3.29 Conteggio dei tronchi su foto aerea tramite ArcGis 9.2.

Il materiale legnoso è stato suddiviso tra tronco singolo, tronco appartenente ad accumulo ed accumulo. Di ogni elemento singolo sono state misurate le caratteristiche geometriche (diametro, lunghezza, radici, area e volume); altre caratteristiche quali specie e tipologia di albero non sono state considerate poiché non erano chiare per la maggior parte degli elementi.

3.3.4.4 Quantificazione del volume del materiale legnoso

Una volta definite le classi di elementi presenti è stato calcolato il volume distinguendo due modalità ed ottenendo quindi un intervallo di quantità di materiale riscontrabile. Un primo calcolo ha compreso tutti i tronchi presenti indipendentemente dall'appartenenza ad un accumulo o meno (CASO TRONCHI) e per essi il volume è stato calcolato come il volume di un cilindro di lunghezza pari alla totale lunghezza dell'elemento. In presenza di radici la loro lunghezza viene sommata a quella del tronco. La seconda stima, invece, è stata effettuata dividendo gli elementi singoli da quelli presenti in accumulo e calcolando il volume totale come somma del volume dei tronchi singoli e del volume degli accumuli (CASO VOLUME). La quantificazione del volume di materiale legnoso all'interno di un accumulo risulta a volte impedita dalla difficoltà di individuare tutti gli elementi presenti sia in campo che tramite foto aerea. La presenza di vegetazione o di materiale legnoso fine o anche di sedimenti rende impossibile la reale quantificazione dell'accumulo. A tal proposito Thevenet et al. (1998), hanno ideato un sistema validato tramite esperimenti in fiumi diversi per cui la massa reale di materiale legnoso presente in un accumulo sarebbe data dal prodotto del volume del parallelepipedo che racchiude l'accumulo, detto volume geometrico, per un coefficiente appositamente calcolato. Thevenet et al., (1998) individuano delle equazioni specifiche nel caso degli accumuli: l'equazione 3.2 corrisponde alla massa di materiale legnoso nel caso del Fiume Ain mentre l'equazione 3.3 è quella ricavata nel caso del Fiume Drôme:

$$V_{REALE} = 86.76 V_{GEOMETRICO} \quad R^2 = 0.95 \quad \text{Eq. 3.2}$$

$$V_{REALE} = 48.08 V_{GEOMETRICO} \quad R^2 = 0.98 \quad \text{Eq. 3.3}$$

dove V_{REALE} è il volume effettivo presente all'interno dell'accumulo e $V_{GEOMETRICO}$ è quello calcolato con la formula del parallelepido.

Dopo aver ricavato il valore corrispondente in volume delle equazioni ipotizzando la densità pari a 500 kg/m^3 come scelto dagli autori (Thevenet et al., 1998) le equazioni sono

state applicate ai valori ottenuti tramite foto aeree e sono state confrontate con un'equazione (eq. 3.4) ottenuta da dati di campo del Fiume Piave e pari a :

$$V_{REALE} = 0.0324 V_{GEOMETRICO} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Il volume geometrico nel caso degli accumuli misurati tramite foto aerea è stato ricavato moltiplicando l'area individuata per un'altezza pari alla mediana delle altezze misurate in campo. La scelta di questa altezza è stata effettuata poiché la distribuzione statistica delle altezze degli accumuli misurati non è risultata significativa. Nel prossimo capitolo verrà esposto nel dettaglio il confronto dei volumi calcolati secondo le varie equazioni.

Anche per i singoli è stato ipotizzato di utilizzare l'equazione ricavata da Thevenet et al., (1998) (eq. 3.5), ma, come verrà spiegato nel prossimo capitolo, l'andamento della retta non è molto diversa da quella generata con il calcolo del volume cilindrico, per cui si è preferito utilizzare quest'ultimo.

$$V_{REALE} = 475.43 V_{GEOMETRICO} \quad R^2 = 0.98 \quad \text{Eq. 3.5}$$

Lo studio effettuato per tutto il tratto è stato ripetuto anche all'interno di ogni singola zona. Come anticipato le singole zone non corrispondono a tutta l'area compresa nella foto, ma sono state ricavate individuando dei tratti definibili secondo una specifica caratteristica morfologica.

Una volta identificato il volume lo studio ha riguardato l'analisi della distribuzione del materiale legnoso rispetto alle singole unità morfologiche al fine di determinare la tendenza statistica a disporsi in determinate zone del corso d'acqua. Un'ultima analisi è stata effettuata per valutare una possibile relazione tra una data tipologia di materiale (singolo, accumulo), la sua distribuzione e la presenza di isole fluviali.

3.3.4.5 Studio della relazione tra quantità di materiale legnoso e zone erose

Considerati i dati ottenuti da Da Canal (2006) sulla quantificazione dell'area boscata erosa in seguito all'evento di piena del 2002, un ultimo aspetto è stato analizzato per valutare la possibile relazione tra zone di area boscata erosa e la presenza di materiale

legnoso sia nei tratti singoli studiati per tutto il tratto compreso tra Ponte nelle Alpi e Busche (Belluno). Considerata una quantità media di materiale legnoso presente per area forestata, la possibilità di conoscere l'area boscata erosa permette di effettuare una valutazione seppur in prima approssimazione del materiale che si è accumulato nei vari tratti o se questi, al contrario non presentano materiale accumulato da cui risulta possibile dedurre se la zona è caratterizzata da trasporto.

4. RISULTATI

4.1. Caratteristiche fisiche del materiale legnoso

Si riportano di seguito i grafici corrispondenti all'analisi delle caratteristiche fisiche studiate presso il Laboratorio del CNRS di Lione.

In seguito all'individuazione degli elementi appartenenti al genere *Populus*, tra i campioni prelevati sono state messe a confronto le caratteristiche degli elementi legnosi dei tre corsi d'acqua. La densità media è risultata essere variabile tra 0.25 e 0.35 g/cm³ (fig. 4.1) e caratterizzata da una significativa differenza tra i fiumi ($F = 10.169$; $p = 0.00007$): la densità media nel fiume Ain (0.28 g/cm³) è risultata inferiore rispetto al Magra (0.36 g/cm³) e al Piave (0.32 g/cm³) i quali presentano oltretutto valori massimi intorno a 0.55 g/cm³ a differenza dell'Ain che non supera 0.45 g/cm³. La differenza di densità è probabilmente legata allo stato decomposizione dei campioni esaminati. Analizzando tale relazione, infatti, si evidenzia una diminuzione della densità con l'aumento del grado di decomposizione degli elementi (fig. 4.2) categoria, questa, valutata come descritto nel capitolo 3 (paragrafo 3.3.1). Effettuando un'ANOVA fattoriale considerando come categorie indipendenti il fiume e le classi si evidenzia un'effettiva diminuzione della densità con l'aumentare del grado di decomposizione tuttavia si può riscontrare un andamento che dipende anche dal corso d'acqua considerato (fig. 4.3) anche se la significatività di relazione tra le due categorie non è così forte ($F = 1.85$; $p = 0.036$).

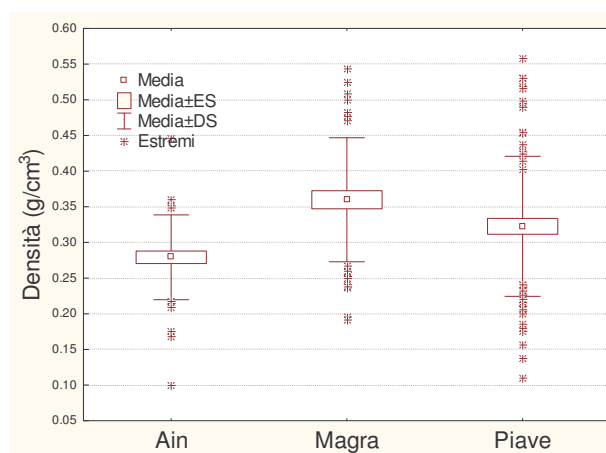


Figura 4.1 Distribuzione della densità nei tre fiumi considerati.

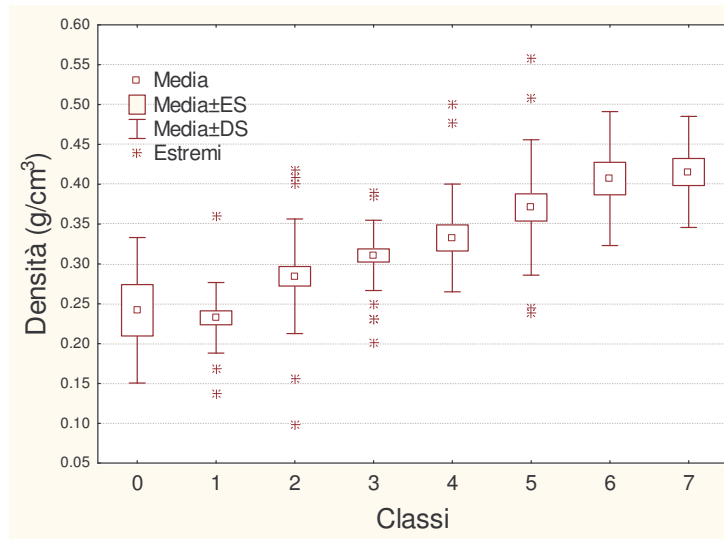


Figura 4.2 Distribuzione della densità secondo le 7 classi di decomposizione.

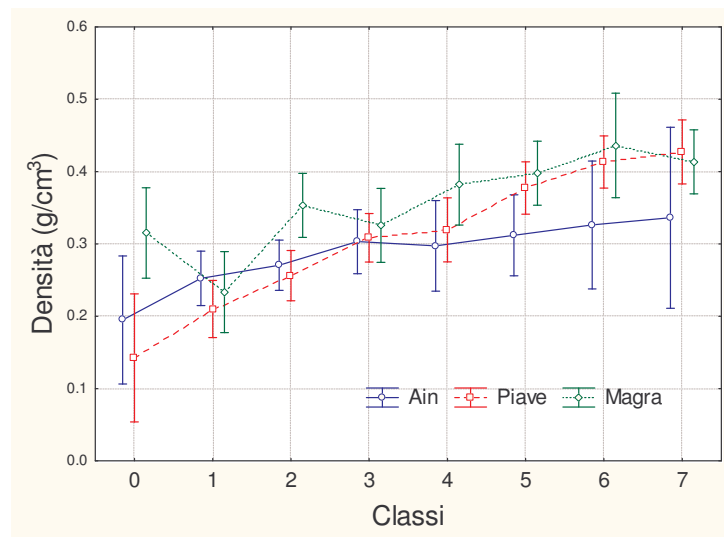


Figura 4.3 Distribuzione delle densità rispetto alle classi considerando i tre fiumi interagenti tra loro tramite analisi della varianza ANOVA fattoriale.

Nelle figure 4.4 – 4.5 è riportata la distribuzione dell'età e del coefficiente di crescita dei campioni prelevati per ogni corso d'acqua. L'età, misurata tramite conteggio degli anelli (fig. 4.4), presenta valori medi simili nel caso del Piave (16 anni) e del Magra (17 anni), mentre è nettamente più alta nel caso dell'Ain (31 anni), aspetto che potrebbe essere dovuto ad una diversa gestione della foresta ripariale con conseguente diversa formazione di materiale

legnoso. Il meandro presso l'abitato di Mollon, infatti, appartiene ad un tratto dell'Ain zona caratterizzata da un' abbandono delle pratiche agricole fin dal 1945 che ha consentito la crescita di una foresta attualmente definita zona protetta dove non si ammettono tagli alla vegetazione ripariale.

Il coefficiente di crescita, essendo un rapporto tra la gli anni della pianta e il diametro, risulta legato alla specie considerata ed alle condizioni stagionali (temperatura, umidità, disponibilità idrica). Non risultano evidenti differenze tra i valori medi del Piave (1.14 cm/anni) e del Magra (1 cm/anni), dal valor medio di crescita dell'Ain (0.51 cm/anni).

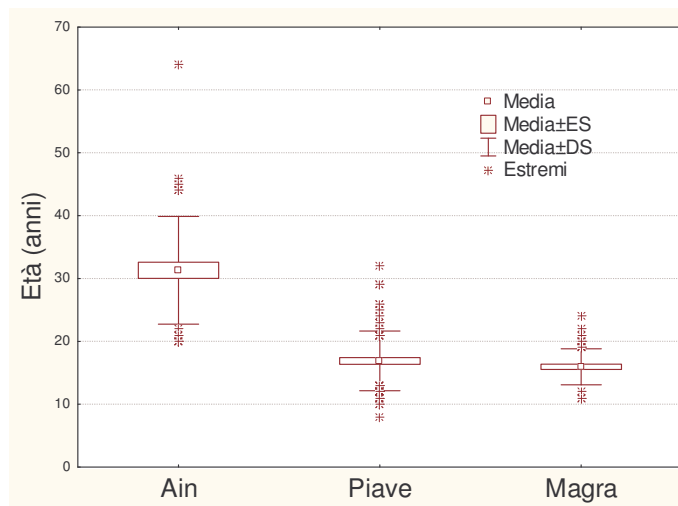


Figura 4.4 Distribuzione dell' età per i tre fiumi.

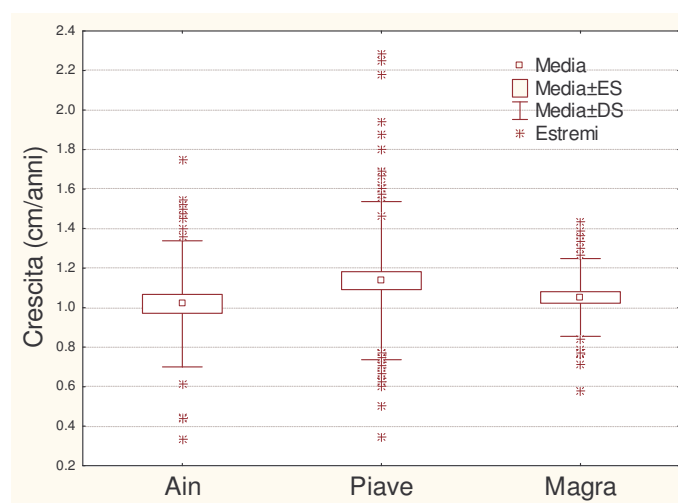


Figura 4.5 Distribuzione del coefficiente di crescita per i tre fiumi.

La resistenza a penetrazione è stata misurata due volte al fine di verificare una particolare differenza risultata per il Piave. Mentre per le altre caratteristiche fisiche quali la densità o il coefficiente di crescita le medie sono confrontabili, nel caso della resistenza il Piave riporta infatti una resistenza media decisamente maggiore (fig. 4.6). A tal fine è stata condotta un'analisi delle correlazioni esistenti tra le variabili considerate (tab. 4.1) da cui risulta una forte correlazione negativa tra la resistenza e l'età del campione considerato. Risulta evidente anche la forte correlazione della densità con le classi di decomposizione, ma anche con l'età e il coefficiente di crescita, (in questo caso negative). Il diametro oltre che chiaramente essere caratterizzato da una correlazione significativa con l'età e il coefficiente di crescita presenta un valore basso ma significativo e negativo (-0.22) con le classi, ovvero più è decomposto il campione maggiore è il diametro dato che le classi sono conteggiate da 7 a 0 rispetto all'aumento del grado di decomposizione.

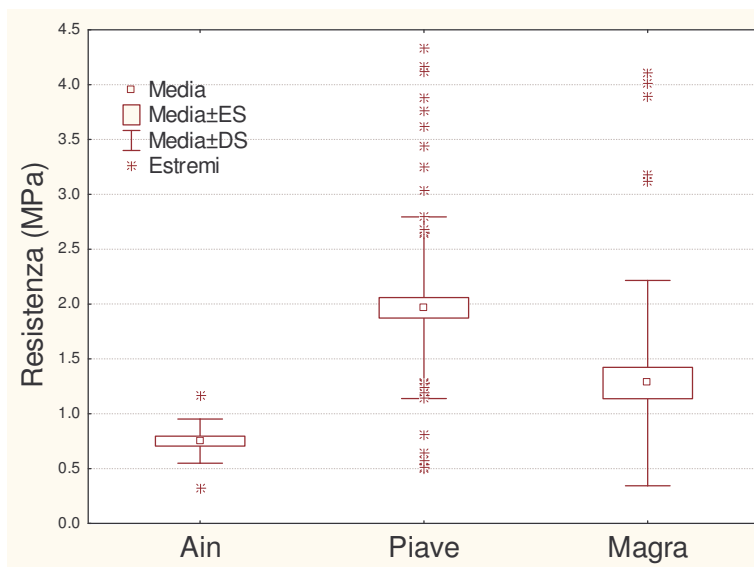


Figura 4.6 Distribuzione della resistenza media nei tre fiumi.

Tabella 4.1 Correlazioni di Pearson considerate marcate significative al livello $p < 0.05$ tra le variabili D, diametro, G, ρ , densità, R, resistenza, C, classi di decomposizione, Età, G, crescita.

	C	Età (anni)	G (cm/anni)
ρ (g/cm ³)	0.67	-0.20	-0.40
D (cm)	-0.22	0.65	0.47
R (MPa)	0.14	-0.18	0.08

Al fine di valutare il contributo delle singole variabili è stata eseguita un'analisi a componenti principali (PCA). Dalle tabelle 4.2 e 4.3 e dalle figure 4.7 e 4.8 si evince che il primo asse è quello maggiormente correlato con le variabili DIAMETRO come correlazioni negative piuttosto elevate e la DENSITÀ come correlazione positiva; mentre per il secondo fattore l'ETÀ come negativa e la CRESCITA come positiva. La Distribuzione porta a legare il primo fattore alle caratteristiche fisiche della piante mentre il secondo fattore a elementi di crescita della pianta. La distribuzione dei casi delle componenti fattoriali è riportata in figura 4.8 dove sono omessi i valori delle variabili per chiarezza di visione.

Tabella 4.2 Autovalori nell'analisi a componenti principali.

	Autovalore	Totale varianza %	Cumulo Autovalore	Cumulo %
1	2.38	39.65	2.38	39.65
2	1.40	23.35	3.78	62.99
3	1.05	17.51	4.83	80.50
4	0.84	13.99	5.67	94.49
5	0.28	4.65	5.95	99.14
6	0.05	0.86	6.00	100.00

Tabella 4.3 Autovettori nell'analisi a componenti principali.

	Fatt. 1	Fatt. 2	Fatt. 3	Fatt. 4	Fatt. 5	Fatt. 6
Classi di decomposizione	0.46	-0.13	0.51	-0.35	0.63	0.04
Densità	0.53	-0.22	0.26	-0.19	-0.75	0.04
Età	-0.34	-0.66	0.24	0.23	0.01	0.59
Diametro	-0.52	-0.17	0.51	-0.17	-0.13	-0.63
G	-0.32	0.59	0.32	-0.41	-0.15	0.51
R	0.15	0.36	0.50	0.77	-0.02	-0.02

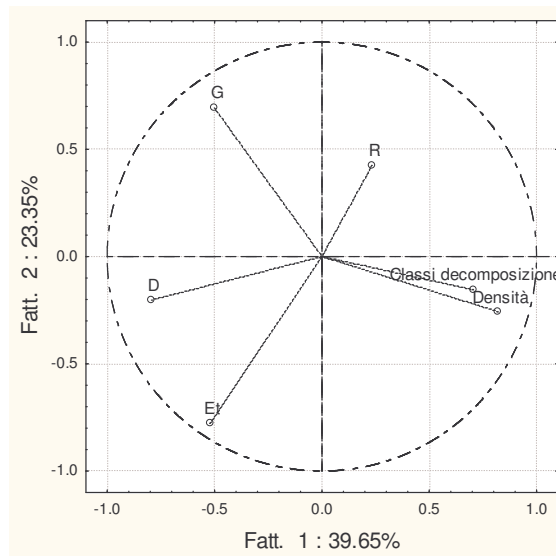


Figura 4.7 Grafico delle coordinate fattoriali delle variabili per l'analisi a componenti principali (PCA) applicata alle variabili D, diametro, G, ρ , densità, R, resistenza, C, classi di decomposizione, Età, G, crescita.

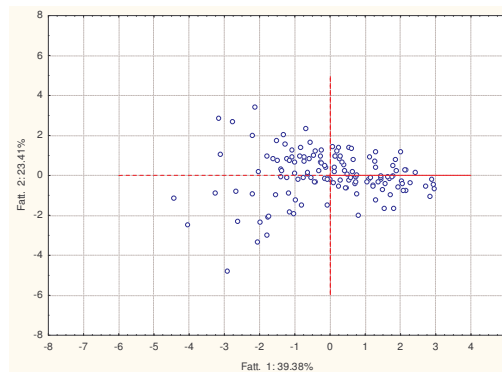


Figura 4.8 Grafico delle coordinate fattoriali dei dell'analisi a componenti principali (PCA) applicata alle variabili D, diametro, G, ρ , densità, R, resistenza, C, classi di decomposizione, Età, G, crescita.

Un'ultima analisi ha riguardato la relazione tra la densità e l'anno di morte dei campioni prelevati. Come già spiegato nel paragrafo 3.3.1 sono stati selezionati alcuni campioni di cui è stato il C14 per ricavare l'anno di morte (tab. 4.4 e tab. 4.5). In figura 4.9 è riportato l'andamento della densità rispetto all'anno di morte per entrambi i corsi

d'acqua. L'andamento non riporta un coefficiente di determinazione molto alto, tuttavia essendo molto pochi gli elementi considerati risulta difficile fare un ipotesi esplicativa al momento.

Tabella 4.4 Campioni del Magra analizzati con il C14 per datare l'anno di morte (risultati gentilmente concessi dal *Centre de datation par le Radiocarbone Université Claude Bernard Lyon*).

T17	1999 - 2001
K1	2004 - 2005
T19	2004 - 2005
W5	2004 - 2005
S20	2005 - 2006
S11	1985 - 1987
S14	2005 - 2006

Tabella 4.5 Campioni dell'Ain analizzati con il C14 per datare l'anno di morte (risultati gentilmente concessi dal *Centre de datation par le Radiocarbone Université Claude Bernard Lyon*).

B2	2004 - 2005
B6	2002 - 2004
B15	1994 - 1997
B21	1987 - 1988
B29	2004 - 2005
B35	1998 - 2001

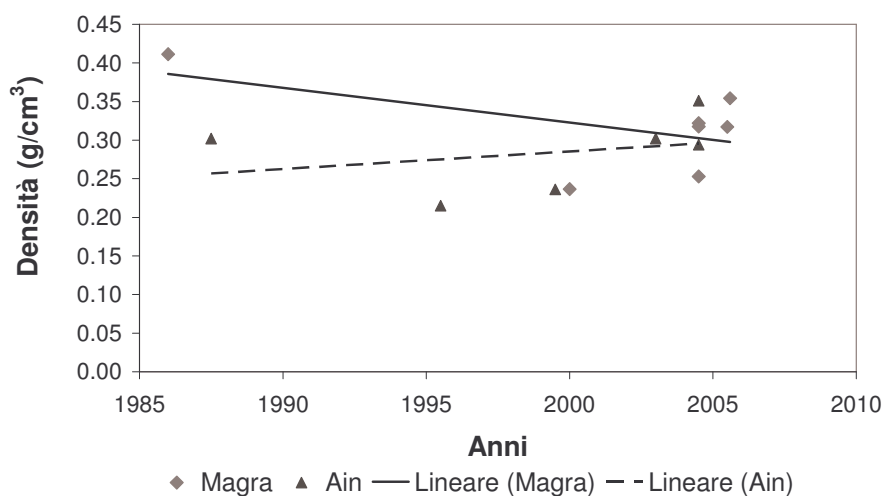


Figura 4.9 Distribuzione della densità rispetto all'anno di morte dei campioni prelevati dal Fiume Ain e dal Fiume Magra.

4.2. Mobilità dei tronchi monitorati

La fine del 2005 e gli ultimi due anni, 2006-2007 (periodo di sperimentazione) non sono stati caratterizzati da eventi di piena particolari. Gli unici eventi registrati in questi due anni sono avvenuti a settembre 2006 e un evento più recente a novembre 2007 con una portata di picco pari rispettivamente a 388 m³/s e a 401 m³/s (portate misurate alla traversa di Busche e quindi sicuramente superiori ai valori di Praloran dove non si ha ancora il contributo del Torrente Cordevole). A Busche-Segusino come riferimento, la portata massima annuale con tempo di ritorno pari a 1.5 anni è pari a 500 m³/s in base all'analisi dei dati storici 1929 – 2007.

Il primo evento non ha causato il trasporto diretto dei tronchi monitorati; tuttavia, operando erosione della barra sinistra più a valle del tratto ha contribuito alla mobilitazione del tronco T3 (posizione A), il quale ha percorso una distanza pari a circa 4030 m lungo il corso d'acqua e si è fermato in corrispondenza di una barra centrale all'altezza dell'abitato di Cesa (posizione B) (fig. 4.10).

Il tronco T3 inizialmente distava 4.3 m dal canale (figura 4.11a). Dopo un anno a seguito dell'erosione il canale ha raggiunto la posizione del tronco T3 (figura 4.11b) e nel momento della piena il tronco è stato definitivamente inglobato dalla corrente. Il T3 è stato ritrovato in corrispondenza di Cesa (fig. 4.12a) quasi intatto e con le radici disposte verso monte. Il riconoscimento è avvenuto, in aggiunta al trasmettitore, anche grazie alla presenza delle etichette metalliche. Lo spray utilizzato per rendere maggiormente visibile il tronco, al contrario, era quasi del tutto scomparso a seguito della permanenza in campo e del contatto con l'acqua. Il trasmettitore non ha subito danni rimanendo salda la copertura in silicone (fig. 4.12b). Il ritrovamento del T3 ha richiesto una ricerca di due giorni che ha permesso di testare l'utilizzo dell'antenna e di verificare un raggio massimo di azione pari a 300 m circa. La difficoltà di accesso ad alcune zone ha sicuramente reso più lunga la ricerca.



Figura 4.10 Spostamento del tronco T3.



Figura 4.11 Posizione del tronco T3 prima dello spostamento durante il posizionamento del trasmettitore nel novembre 2005 (a) e posizione del tronco 3 prima dello spostamento, agosto 2006 (b).



Figura 4.12 Posizione del tronco T3 dopo lo spostamento (a); particolare del punto in cui è inserito il trasmettitore (b); Cesa, settembre 2006.

L'evento di piena verificatosi a novembre 2007 non è stato sufficiente a mobilitare ulteriormente il T3 reso stabile nell'attuale posizione probabilmente dall'ancoraggio delle radici. Nemmeno gli altri tronchi sono stati mobilitati poiché il tirante ha raggiunto la base di essi non arrivando al livello minimo per permettere il galleggiamento.

La batteria dei trasmettitori ha raggiunto attualmente (dicembre 2007) una durata pari a 25 mesi, superando quindi la durata prevista di 18 mesi, questo nonostante le basse temperature ($< -10^{\circ}\text{C}$) raggiunte per alcuni periodi negli ultimi due anni nella zona di Belluno.

4.3. Quantità, dimensioni e caratteristiche del materiale legnoso rilevato in campo

In questa sezione sono presentati i risultati delle indagini di campo descritte al capitolo 3. Tra le specie arboree presenti come elementi legnosi si riscontra una forte presenza di *Salix* (48%) e *Populus* (34%), mentre in minoranza sono presenti esemplari anche di *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus*, *Betula*, *Picea abies* e *Pinus sylvestris* (fig. 4.13). Le percentuali tuttavia cambiano in relazione alle aree di studio considerate. Il tratto infatti comprende 30 km lungo i quali la vegetazione ripariale presenta variazioni importanti. In generale, nei tratti più a monte si ritrova un maggior numero di pini, mentre verso valle prevalgono le Salicaceae (*Salix* e *Populus*). Risultano comunque dominanti specie tipiche della fascia di pertinenza fluviale (Salicaceae), mentre la presenza di conifere e altre latifoglie deriva principalmente dall'erosione spondale agente su terrazzi recenti (< 30 anni).

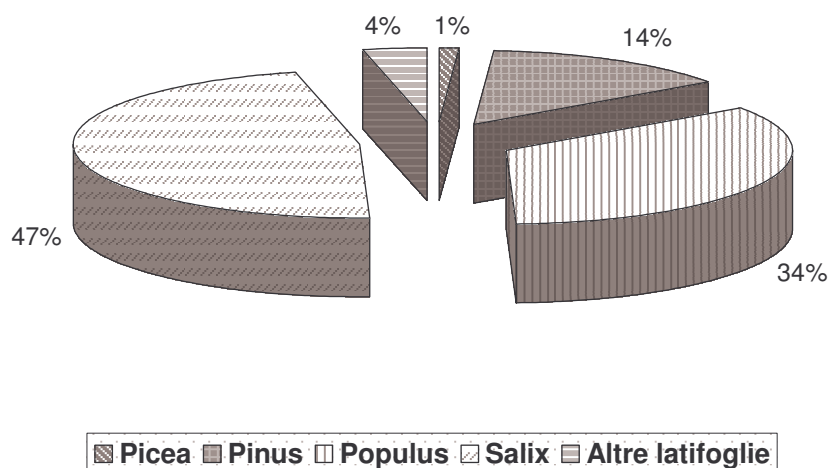


Figura 4.13 Specie presenti tra i campioni misurati in campo.

In merito alla modalità di deposizione, risulta che la percentuale di elementi depositati in accumuli è lievemente maggiore rispetto al numero di elementi depositati in maniera individuale (fig. 4.14).

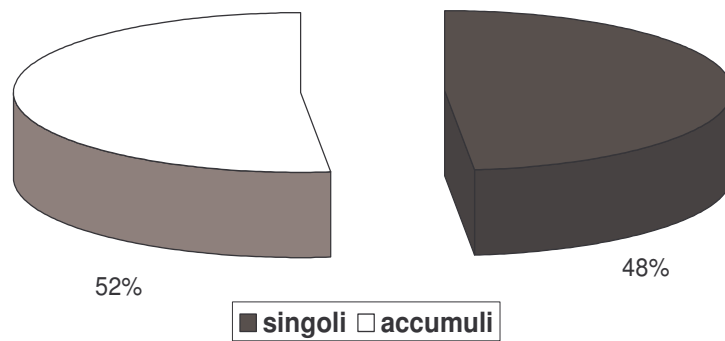


Figura 4.14 Percentuale di singoli e accumuli presenti tra i campioni misurati in campo

La composizione degli accumuli è piuttosto varia: alcuni presentano singoli pezzi tra loro incastrati (fig. 4.15), altri sono caratterizzati da una forte presenza di ramaglia e legnoso fine (< 10 cm) tra i vuoti generati dagli elementi più grossi (fig. 4.16) mentre si riscontrano spesso accumuli caratterizzati dalla presenza di vegetazione interna (erbacea ed arbustiva) talvolta talmente sviluppata da rendere la struttura un principio di isola pioniera (fig. 4.17).



Figura 4.15 Accumulo costituito da pochi elementi e poco materiale fine.



Figura 4.16 Accumulo caratterizzato da molto materiale fine (< 10 cm di diametro).



Figura 4.17 Accumulo colonizzato da vegetazione erbacea ed arbusti.

La tipologia di accumuli qui descritti rappresenta un tentativo di catalogazione di difficile realizzazione a causa delle diverse distribuzioni del materiale all'interno del volume. Come si evince dalla figura 4.18 all'interno degli accumuli sono difficilmente individuabili elementi singoli grossi (diametro > 10 cm) perché sono in genere coperti da

altro materiale legnoso o da sedimento o da vegetazione. In genere è facilmente distinguibile un solo elemento grosso che a volte corrisponde all'elemento chiave (*key piece*). Il materiale legnoso che compone la struttura dell'accumulo è soprattutto materiale fine disposto per la maggior parte degli accumuli secondo una distribuzione casuale (*no dominant disposition*) (fig. 4.19) oppure è presente disposto in maniera fitta e a trama incrociata (*tigh braided mesh*). In minor quantità sono presenti accumuli con ramaglia fitta ma disposta parallelamente (*tigh parallel mesh*) o diradata con disposizione parallela (*loose parallel mesh*) o casuale (*loose braided mesh*).

Gli accumuli sono spesso colonizzati da vegetazione ripariale (fig. 4.20) in genere cespugli ma anche vegetazione pioniera, in alcuni casi è presente o solo vegetazione erbacea o anche piante già stabilizzate, tuttavia per la maggioranza sono costituiti da solo materiale legnoso.

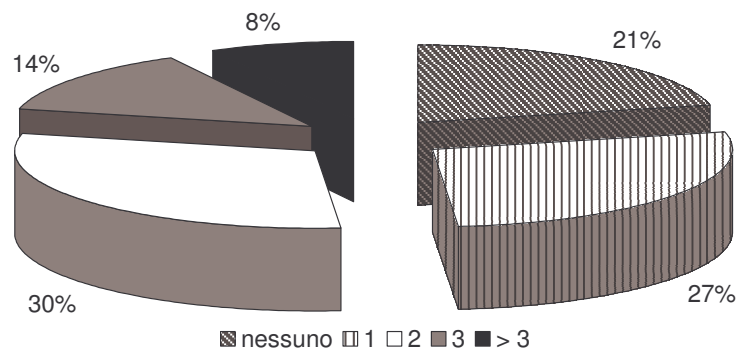


Figura 4.18 Numero di elementi con diametro superiore ai 10 cm.

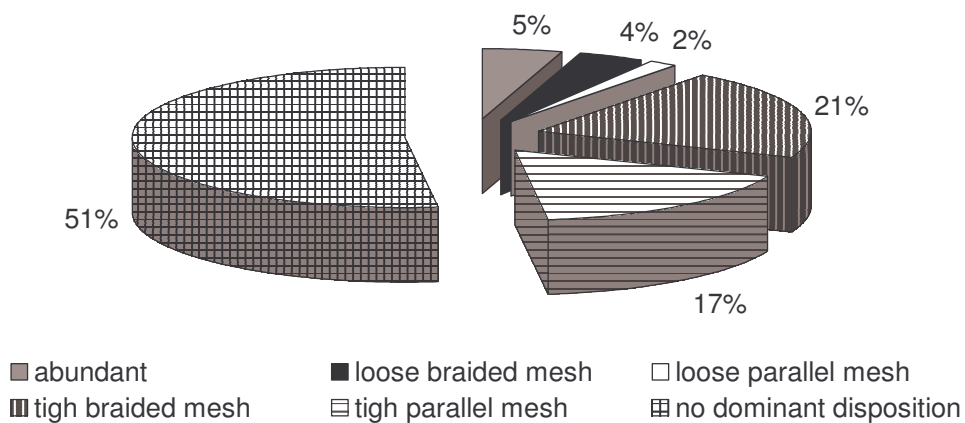


Figura 4.19 Distribuzione del materiale legnoso fine all'interno degli accumuli.

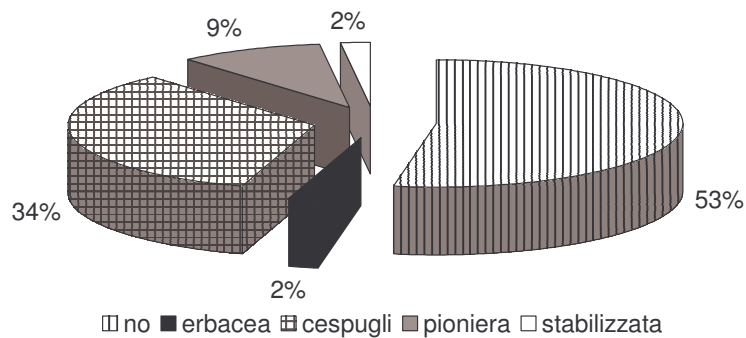


Figura 4.20 Percentuale di accumuli colonizzati da vegetazione distinti sulla base della tipologia: erbacea, cespugli, pioniera, stabilizzata o assente.

Gli accumuli presentano un volume medio di 74 m^3 mentre l'area media occupata è di circa 60 m^2 (tab. 4.6). Per l'altezza è stata considerata la mediana e non la media a causa della distribuzione non normale (fig. 4.21) che risulta pari a 1 m mentre l'altezza massima rilevata è di circa 3.5 m. Studiando un eventuale relazione tra l'altezza e l'area degli accumuli non risulta alcuna relazione significativa tale per cui $R^2 = 0.1$ (fig. 4.22).

Tabella 4.6 Dimensioni massime e medie di area, altezza e volume degli accumuli rilevati.

Area max (m^2)	380
A media (m^2)	60
h max (m)	3.5
h media (m)	1
Volume max (m^3)	478
Volume medio (m^3)	74

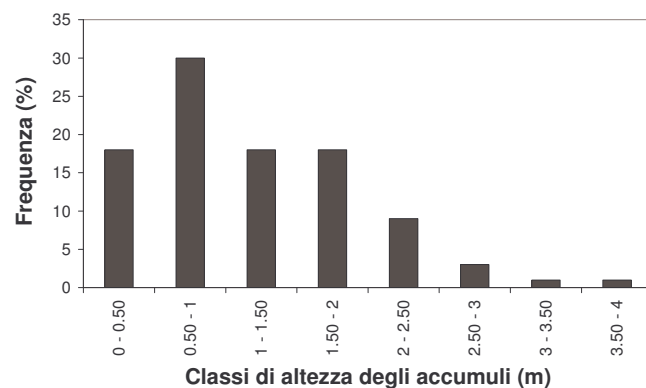


Figura 4.21 Classi di altezza degli accumuli rilevati.

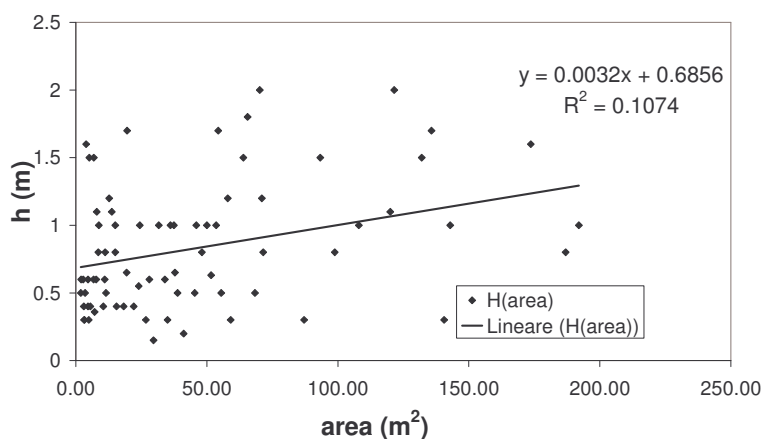


Figura 4.22 Distribuzione dell'altezza rispetto all'area degli accumuli rilevati.

Tra gli elementi presenti singolarmente si distinguono quattro tipologie sulla base della provenienza o della forma geometrica che li caratterizza (fig. 4.23) e sono individuabili, quindi, pezzi di tronchi senza rami o radici logorati visibilmente dal trasporto subito (*log*), (fig. 4.24), cespugli (*shrub*), (fig. 4.25), e alberi interi (*tree*), (fig. 4.26). Nelle zone più accessibili è facile trovare tronchi tagliati tipicamente caratterizzati dalla chioma ancora intatta e parte di radici disposti esattamente come al momento del deposito (fig. 4.27).

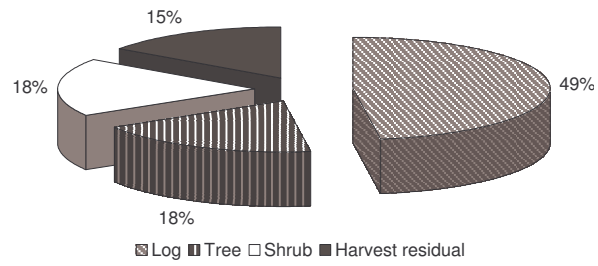


Figura 4.23 Percentuale di presenza di materiale legnoso distinto secondo le tipologie individuate.



Figura 4.24 Elemento singolo (*log*) ritrovato su barra alta.



Figura 4.25 Cespuglio (*shrub*).



Figura 4.26 Albero intero (*trunk*).



Figura 4.27 Residuo di taglio di un albero depositato in alveo.

Dai grafici relativi alla frequenza percentuale delle classi di lunghezza (fig. 4.28) e delle classi diametriche (fig. 4.29) degli elementi singoli, si riscontra una grossa varietà di lunghezze presenti, fino a 22 m. Per quanto riguarda i diametri si osserva, invece, un'alta percentuale di elementi compresi tra i 10 e i 20 cm, e nessun elemento oltre i 40 cm fatta eccezione per qualche tronco particolarmente grande (classe 70-75 cm). Nel complesso le distribuzioni si presentano molto irregolari.

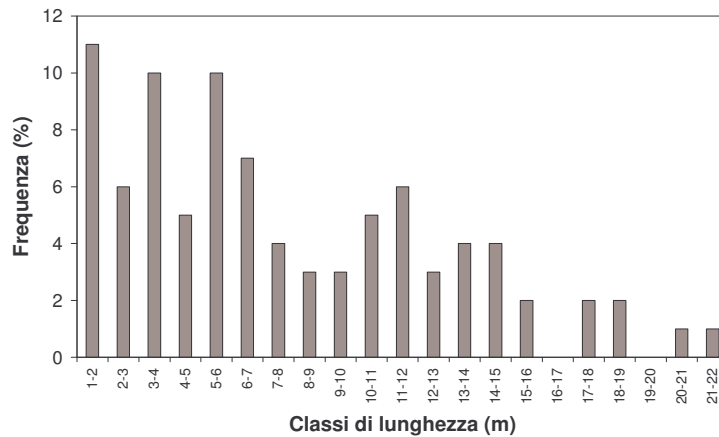


Figura 4.28 Classi diametriche dei i campioni misurati in campo (Fiume Piave, Belluno).

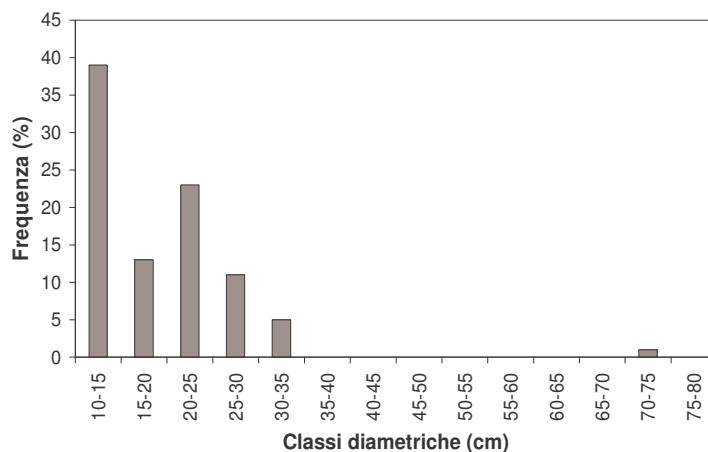


Figura 4.29 Classi di lunghezza dei i campioni misurati in campo (Fiume Piave, Belluno).

I singoli misurati sono per la maggior parte derivati da trasporto da parte della corrente (*floatated*) anche se non è stato possibile risalire al luogo di origine, tuttavia la poca corteccia presente (fig. 4.30) spesso è indice di trasporto. Una grande quantità di elementi non presenta rami tuttavia si riscontrano anche alberi con rami ancora interi. In genere si tratta di alberi ancora interi che sono reduci da erosione di sponda e provengono da tratti poco più a monte del sito in cui sono depositati. In alcuni casi sono presenti rimasugli di

rami e solo qualche tronco ha pochi rami spaccati (fig. 4.31). Quasi tutti gli elementi presentano radici (fig. 4.32) a volte intatte a volte rotte in seguito a trasporto la cui lunghezza massima è di 2 m mentre il valor medio è tra i 50 cm e 1.25 m (fig. 4.33) mentre le classi di diametro delle radici spaziano da un valore minimo di 10 cm ad un valore massimo di circa 4 m (fig. 4.34).

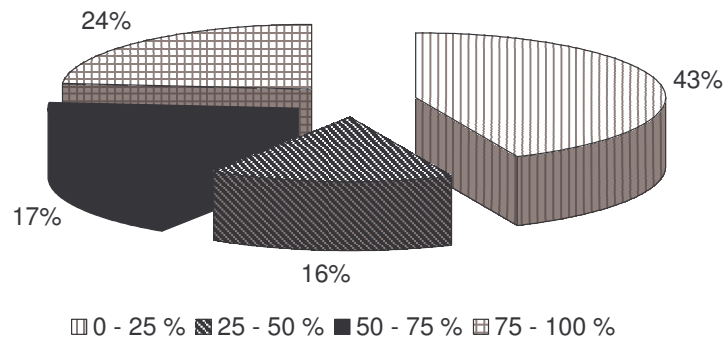


Figura 4.30 Percentuale di elementi singoli caratterizzati da percentuali diverse di corteccia.

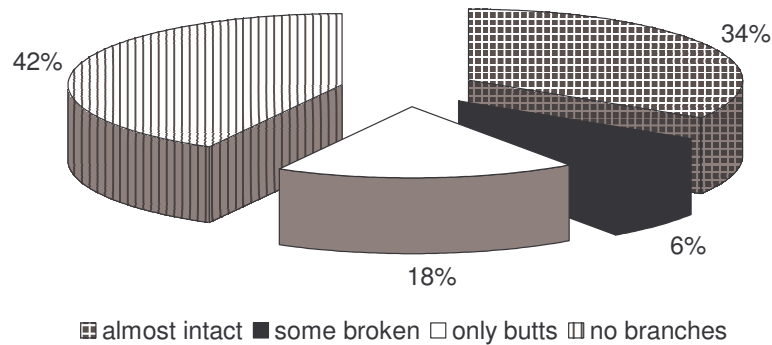


Figura 4.31 Caratteristiche dei rami riscontrate per gli elementi singoli rilevati.

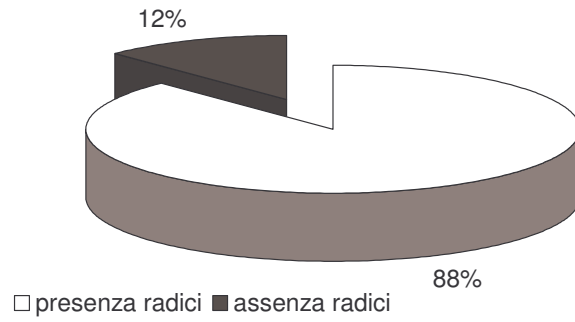


Figura 4.32 Percentuale di elementi singoli caratterizzati dalla presenza o dall'assenza di radici.

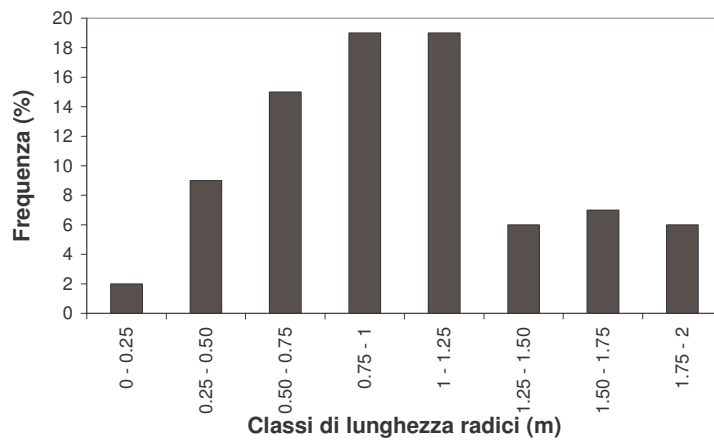


Figura 4.33 Classi di lunghezza delle radici degli elementi singoli rilevati.

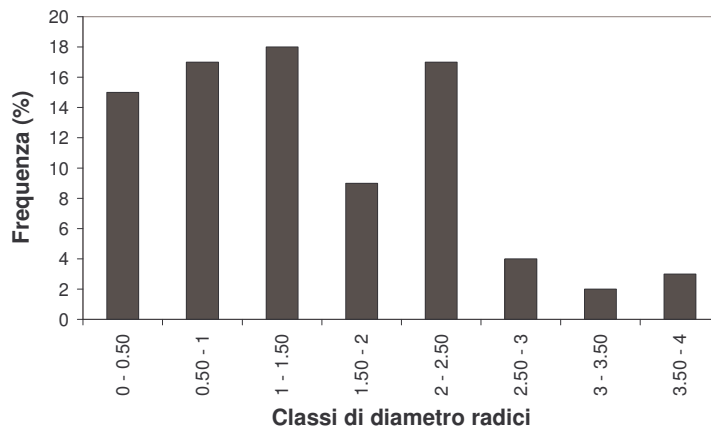


Figura 4.34 Classi di diametro delle radici degli elementi singoli rilevati.

Rispetto alle superfici morfologiche considerate, il legname si trova localizzato prevalentemente sulle barre “basse”, ovvero quelle che più frequentemente rimangono inondate, sia nel caso degli accumuli (fig. 4.35) che per gli elementi singoli (fig. 4.36). Il legname presente nel canale principale non è stato rilevato per difficoltà di guado, ma esso rappresenta una frazione trascurabile della quantità totale.

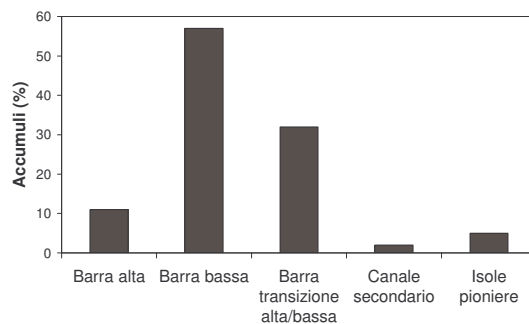


Figura 4.35 Distribuzione degli accumuli presenti tra i campioni misurati in campo rispetto alle unità morfologiche considerate in campo.

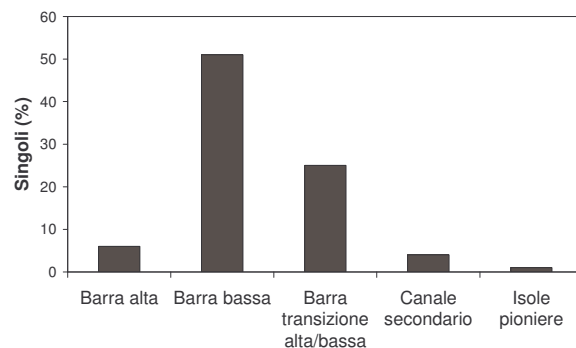


Figura 4.36 Distribuzione degli elementi singoli presenti tra i campioni misurati in campo rispetto alle unità morfologiche considerate in campo.

In merito all’interazione del legname con i sedimenti, si riportano nel grafico in figura 4.37 le percentuali degli accumuli in cui sono state riscontrate forme di scavo, di accumulo di sedimento, o entrambe. La grande maggioranza di essi non mostrava chiari indizi di effetti geomorfologici, probabilmente a causa delle loro dimensioni (diametri) contenute, anche se la valutazione delle possibili interazioni non è stata priva di incertezze.

Tuttavia, una tessitura diversa del sedimento rispetto al resto della barra (fig. 4.38) rendeva spesso evidente la relazione causale tra presenza di legname e di sedimento dovuta ad un'alterazione del campo di moto, tipicamente a monte (erosione netta, dovuta a vortice “a ferro di cavallo”) ed a valle (deposizione netta), dovuta a fenomeni di scia degli accumuli. Nello specifico, sia in caso di processi di scavo che di deposito, risulta prevalentemente associata la frazione sabbiosa del sedimento trasportato (fig. 4.39) piuttosto che quelle di maggiori dimensioni quali ciottoli e ghiaie.

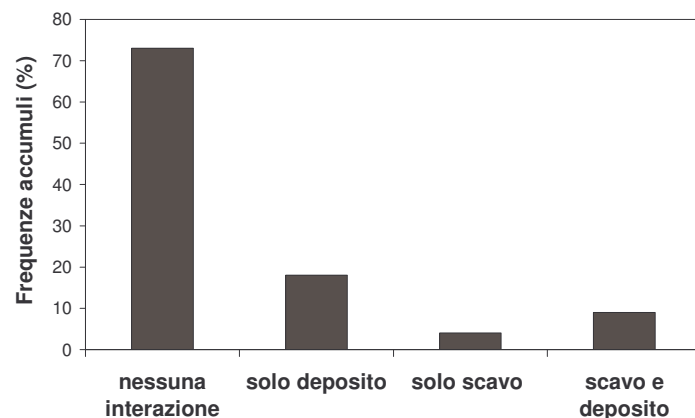


Figura 4.37 Interazione del materiale legnoso degli accumuli con i sedimenti, (Fiume Piave, Belluno).



Figura 4.38 Tessitura sabbiosa attorno all'accumulo rispetto al sedimento ghiaioso prevalente nella barra.

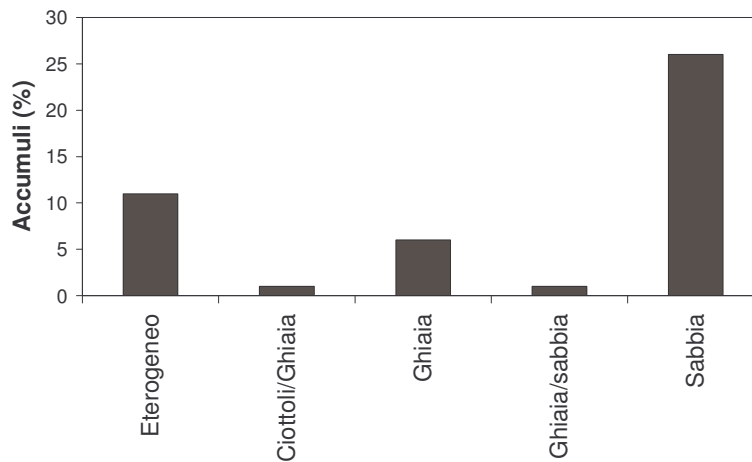


Figura 4.39 Tipologia di sedimento presente in prossimità degli accumuli misurati.

4.4. Caratteristiche delle Isole Pioniere rilevate in campo

Nel valutare l'importanza del materiale legnoso rispetto alla generazione di vegetazione all'interno dell'alveo, sono state misurate le dimensioni e le caratteristiche delle isole pioniere per tre tratti: Levego, Nave e Lentiai (vedi paragrafo 3.3.3). Le isole riportano aree massime piuttosto diverse nelle tre zone mentre le aree minime non scendono al di sotto dei 10 – 15 m² per isola (tab. 4.7), (fig. 4.40 – 4.41). Il diametro massimo e l'altezza massima sono rispettivamente pari a 40 cm e 20 m stimati nel tratto di Levego. La frequenza delle aree di tutte le isole rilevate (fig. 4.42) evidenzia un'elevata numerosità al di sotto dei 100 m² di dimensione mentre molto poche superano i 1000 m² e solo nel tratto di Lentiai (vedi **Appendice B**). I diametri delle piante, la cui frequenza di classe è riportata in figura 4.43, non superano i 25 cm sia nel tratto di Nave che nel tratto di Lentiai e solo a Levego arrivano al valore massimo citato (vedi **Appendice B**), come accade per le altezze (fig. 4.44) che non superano i 7 m nei due tratti caratterizzati da diametro minore, come ci si poteva aspettare mentre superano i 10 metri solo nel caso di Levego (vedi **Appendice B**) (Da Riz, 2006).

Tabella 4.7 Area massima, minima e media, diametro massimo e medio e altezza massima e media delle isole rilevate nelle tre zone.

	LEVEGO	NAVE	LENTIAI
Area max (m²)	756.00	501.50	1050.00
Area min (m²)	10.00	10.20	15.00
Area media (m²)	157.00	124.00	265.00
H max (m)	20.00	9.00	15.00
H media (m)	6.47	4.76	7.72
D max (m)	0.40	0.20	0.21
D medio (m)	0.11	0.10	0.11



Figura 4.40 Isola Pioniera rilevata nel tratto di Nave.



Figura 4.41 Isola pioniera caratterizzata da un unico albero, *Populus nigra*.

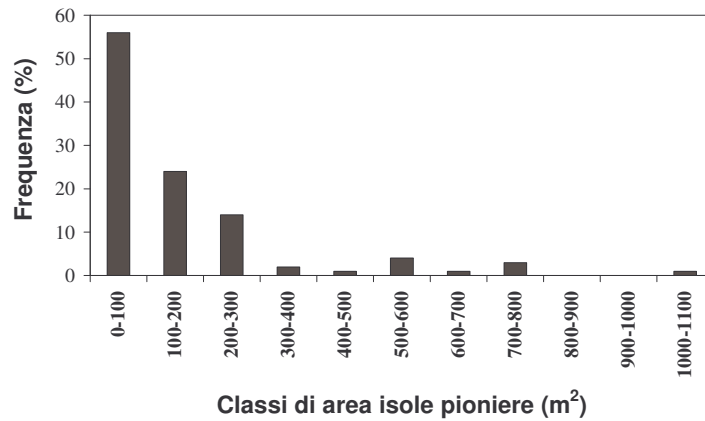


Figura 4.42 Frequenza delle classi di area delle isole pioniere rilevate.

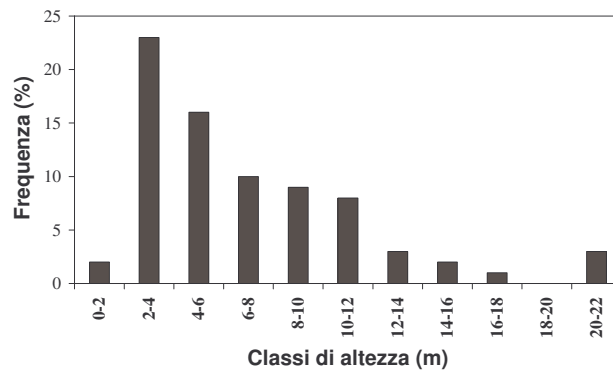


Figura 4.43 Frequenza delle classi diametriche delle piante presenti nelle isole pioniere rilevate.

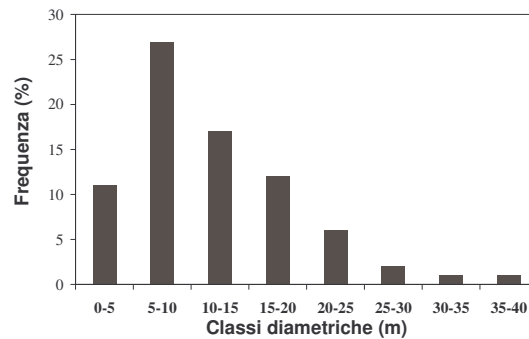


Figura 4.44 Frequenza delle classi di altezza delle piante presenti nelle isole pioniere rilevate.

Le specie rilevate sono principalmente Salicaceae (*Salix spp.* e *Populus nigra*), ma è presente in buona percentuale anche l'esotica (e infestante) *Buddleja*. Specie presenti in minor numero sono l'*Alnus incana* e la *Robinia pseudoacacia* (fig. 4.45 – 4.46).

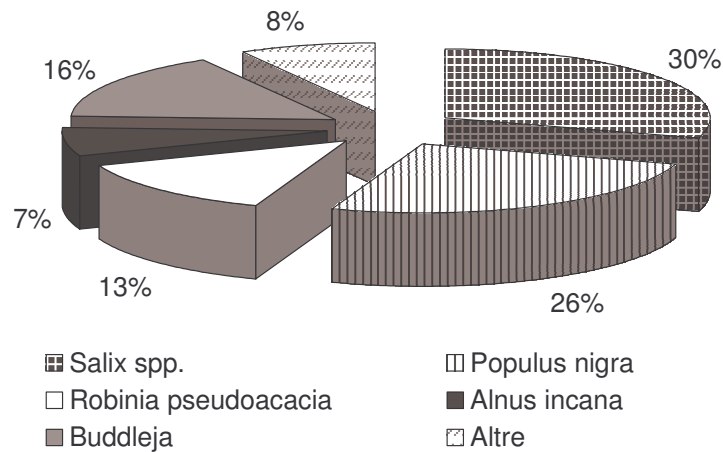


Figura 4.45 Specie conteggiate all'interno delle isole pioniere rilevate.



Figura 4.46 Isola Pioniera costituita da piante di specie diverse: *Salix spp.*, *Populus nigra*, *Buddleja* e *Alnus incana*.

All'interno di ogni zona è stata valutata la presenza di materiale legnoso associando delle classi tra 0 e 3, in cui 0 indica l'assenza totale, mentre 3 è la presenza di materiale legnoso sopra il 66 % dell'area dell'isola. Come si evince dal grafico in figura 4.47 quasi il 32 % delle isole rilevate è caratterizzata da una grande quantità di materiale legnoso e soltanto un 16% di isole ne è totalmente priva.

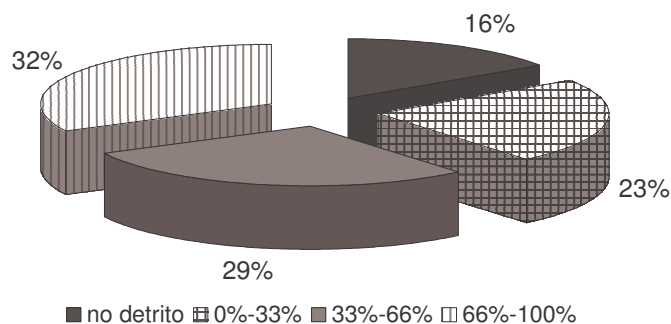


Figura 4.47 Classi di materiale legnoso all'interno delle isole rilevate.

Rispetto alla granulometria del sedimento che ricopre la superficie delle isole il 64 % è costituito prevalentemente da sabbia, mentre solo un 13 % presenta un substrato ghiaioso del tutto simile a quello delle barre circostanti (fig. 4.48).

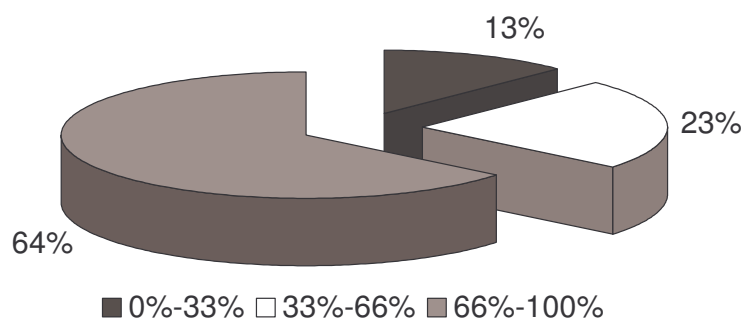


Figura 4.48 Distribuzione del sedimento fino all'interno delle isole rilevate nelle tre zone.

Un' ultimo aspetto considerato è quello legato alla presenza di pozze che come già anticipato sono indice di sviluppo dell'isola e che costituiscono habitat di elevato valore. Tra le isole pioniere rilevate, molto poche (10 %) presentano la presenza di pozze (fig. 4.49 – 4.50).

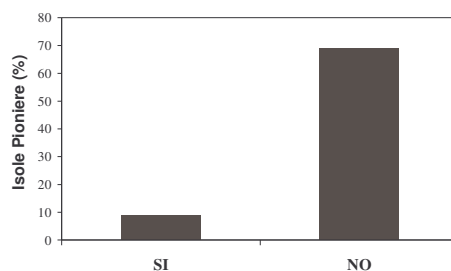


Figura 4.49 Presenza di pozze per le isole pioniere rilevate.



Figura 4.50 Pozza generatasi presso un' isola pioniera.

4.5. Valutazione della precisione di misura del materiale legnoso tramite foto aeree

Lo studio tramite fotointerpretazione rappresenta un tentativo di metodologia complementare rispetto ad un raccolta dati tramite rilievi di campo. Come già spiegato nel paragrafo 3.3.4 i problemi logistici dovuti ad inaccessibilità del luogo o ad estensioni eccessive del tratto in cui effettuare i rilievi rende lunga e dispendiosa la ricerca di campo. A tal fine la fotointerpretazione ha permesso di ottenere un maggior numero di dati rispetto a quelli reperibili tramite i soli rilievi di campo.

L'individuazione e la misura del materiale legnoso mediante foto aeree comporta difficoltà legate principalmente all'interpretazione delle immagini. Nel misurare i tronchi si è dovuto sempre utilizzare una tecnica visiva in quanto l'utilizzo di software di riconoscimento non avrebbe potuto tener conto di svariate particolarità cromatiche. Un

esempio riguarda l'individuazione di alcuni tronchi senza corteccia quasi non percettibili per cui l'individuazione è stata effettuata solo a seguito del confronto con dati di campo. Nel valutare l'errore commesso tra il materiale legnoso rilevato in campo nelle aree di saggio descritte precedentemente e quello analizzato tramite foto aeree si è riscontrata la mancanza di alcuni elementi misurati in sede di rilievo. Utilizzando le coordinate GPS raccolte in campo, si è riscontrata l'effettiva presenza del tronco, in parte nascosta da un colore molto simile a quello del sedimento della barra circostante e di difficile individuazione a causa della limitata grandezza (fig. 4.51).

Tale conoscenza ha permesso una maggiore attenzione senza la quale molti tronchi sarebbero andati persi nel conteggio tramite foto aerea.



Figura 4.51 Individuazione del materiale legnoso tramite foto aerea: difficoltà di distinzione in base al colore.

Un altro aspetto ha riguardato la possibilità di riconoscere la presenza di radici. Spesso le radici dei tronchi tendono a catturare altro materiale fine comportando quindi una divisione non chiara tra un elemento e l'altro causando un'incertezza nella determinazione delle dimensioni finali. Il diametro delle radici è stato misurato solo per elementi per cui fosse abbastanza netta la distinzione (fig. 4.52).

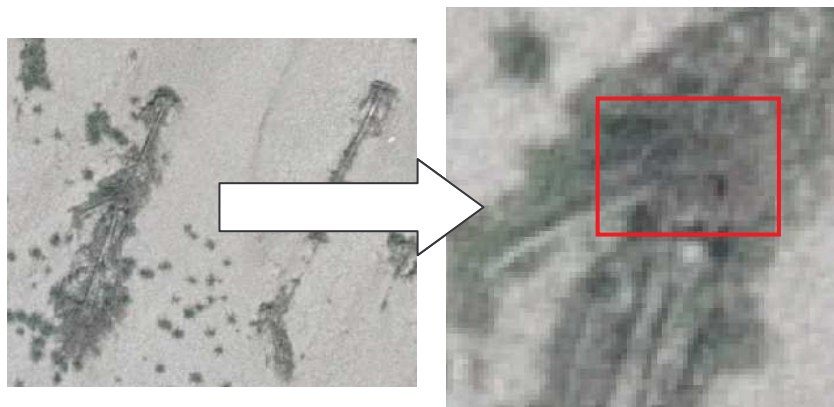


Figura 4.52 Individuazione del materiale legnoso tramite foto aerea: difficoltà nell'individuazione delle radici.

Si è valutata la precisione delle misure tramite foto aerea quantificando l'errore relativo associato al diametro ed alla lunghezza di ogni elemento.

$$E_{RELATIVO} = \left(\frac{VALORE_{reale} - VALORE_{misurato}}{VALORE_{reale}} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. 4.1}$$

Come si evince dalla figura 4.53, gli errori che si commettono nella misura dei diametri dei tronchi possono essere notevoli ma diminuiscono ovviamente all'aumentare della dimensione del tronco. In particolare per diametri > 15 cm essi diventano inferiori al 50%, quando il diametro cresce a 20 cm l'errore scende al 40 % diminuendo notevolmente per diametri dell'ordine dei 25 cm per cui l'errore scende al di sotto del 10 %. L'errore è negativo per cui tendenzialmente si sovrastima misurando tramite foto aerea, tuttavia questo non è semplicemente attribuibile all'errore visuale umano poiché già nella fase di rettificazione si ha una perdita di precisione che porta a sgranare l'immagine. Effettuando un'ANOVA a una via per vedere la distribuzione dell'errore nelle varie zone non si riscontra alcuna differenza significativa ($F = 0.55$; $p = 0.737$). La distribuzione della variazione dell'errore commesso nella stima del diametro nei tratti studiati è riportata in figura 4.54.

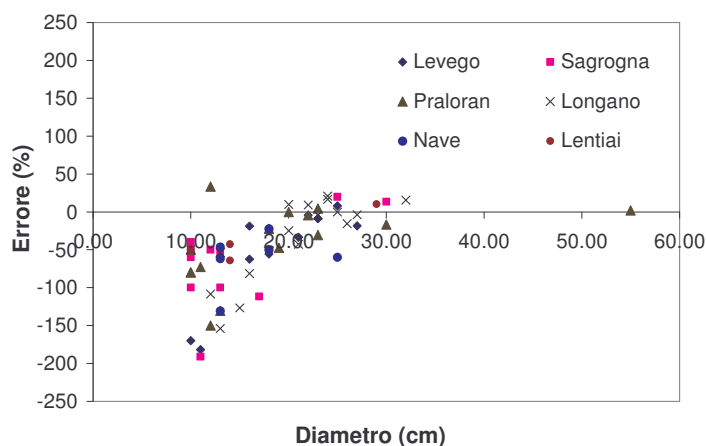


Figura 4.53 Errore associato alla stima del diametro degli elementi legnosi tramite foto aerea.

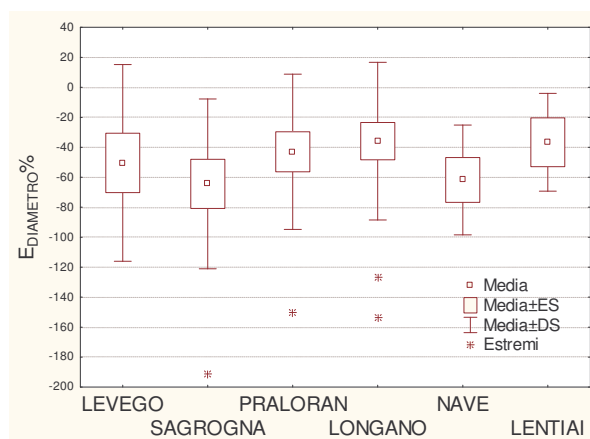


Figura 4.54 Distribuzione dell'errore commesso nella valutazione del diametro degli elementi singoli nei tratti studiati.

In figura 4.55 si riportano i risultati ottenuti valutando la lunghezza degli stessi elementi, dove l'errore relativo è maggiormente distribuito con tendenza alla sovrastima ed indipendente dalla dimensione dei tronchi con qualche picco per elementi piccoli, come ceppaie o pezzi isolati di color chiaro non facilmente individuabili. È ovvio comunque che in sede di valutazione dei volumi legnosi il peso maggiore – quadratico – del diametro rende tale dimensione la più critica per quanto riguarda la precisione del metodo. Effettuando l'ANOVA ad una via anche per l'errore sulla lunghezza si ottengono valori

significativi ($F = 3.05$; $p = 0.016$) per cui l'errore sembrerebbe variare in relazione al tratto studiato (fig. 4.56).

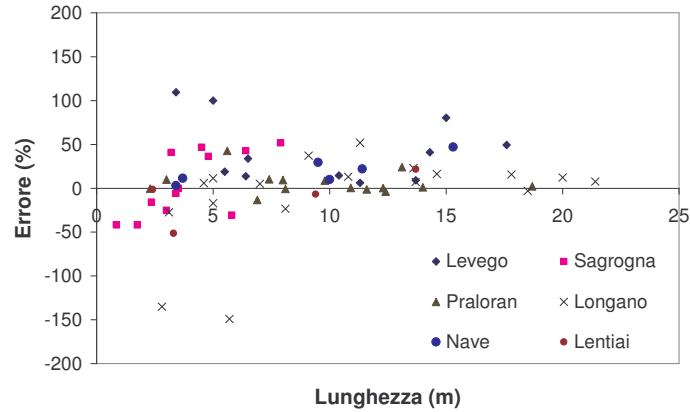


Figura 4.55 Errore associato alla stima della lunghezza degli elementi legnosi tramite foto aerea.

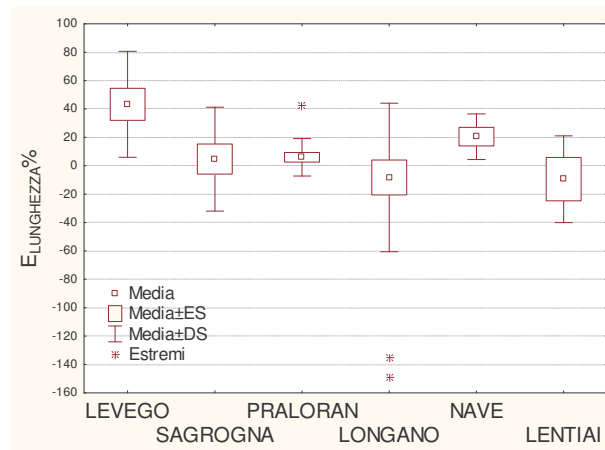


Figura 4.56 Distribuzione dell'errore commesso nella valutazione della lunghezza degli elementi singoli nei tratti studiati.

Un'ultima analisi dell'errore commesso stimando tramite foto aerea è stata effettuata per le aree degli accumuli (fig. 4.57). Come già espresso nel paragrafo 3.3.4.4, le aree degli accumuli sono state calcolate in maniera diversa avendo con l'ArcGis 9.2 la possibilità di contornare le aree precise occupate dall'accumulo a differenza di quanto avviene in campo dove si è più facilitati ad usare il metodo di Thevenet et al. (1998) che racchiude il volume di materiale legnoso in un parallelepipedo e ne misura le dimensioni togliendone gli spazi vuoti (vedi paragrafo 3.3.4.4). L'ANOVA a una via per stimare la varianza dell'errore

relativo alla misura dell'area nei vari tratti non riporta valori significativi ($F = 1.5$; $p = 0.2$) per cui, come nel caso del diametro, non ci sono particolari differenze nella sua distribuzione (fig. 4.58). La stima dell'area è spesso stata incerta a causa della presenza di vegetazione che non permette sempre, soprattutto in prossimità di isole, di determinare i contorni precisi dell'accumulo motivo che spiega la sovrastima eccessiva nel caso dei punti più estremi ($E_{RELATIVO} < -200$) e corrispondenti ad accumuli nei tratti di Lentiai e di Longano.

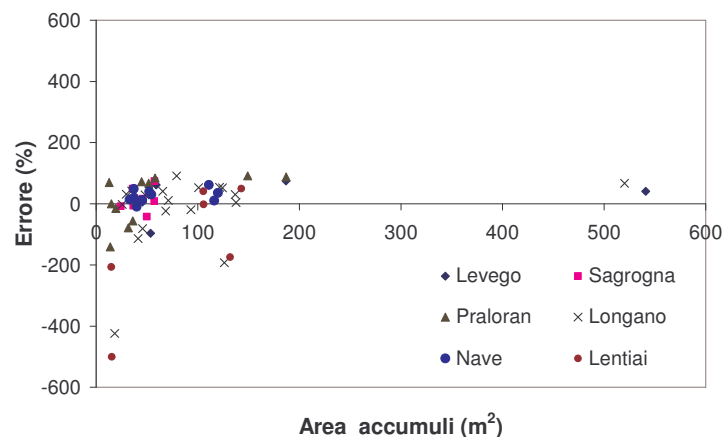


Figura 4.57 Errore legato alla stima delle aree degli accumuli tramite foto aeree.

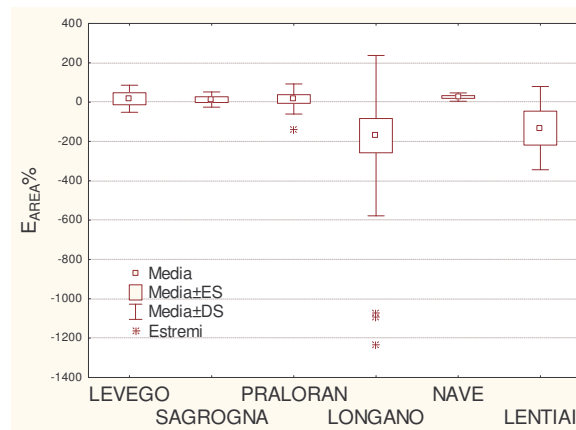


Figura 4.58 Distribuzione dell'errore commesso nella valutazione dell'area degli accumuli nei tratti studiati.

4.6. Quantificazione del materiale legnoso in alveo tramite foto aerea

Dopo aver verificato l'errore associato alle misure di diametro e di lunghezza dei tronchi e di area degli accumuli, è stato necessario sperimentare diversi approcci per la valutazione della metodologia più adatta al calcolo dei volumi di materiale legnoso.

Nel caso degli elementi singoli, il volume è stato calcolato in prima istanza ipotizzando l'elemento di forma cilindrica con diametro pari al diametro misurato (a circa 1.3 m dalle radici) e lunghezza pari alla somma della lunghezza del tronco più la lunghezza delle radici dove presenti; nella seconda modalità il volume è stato calcolato secondo la formula di Thevenet et al. (1998), per cui la massa reale di un certo elemento legnoso è data dalla formula vista nel capitolo 3 (eq. 3.5) e riadattata dimensionalmente ad un volume ipotizzando una densità media pari a 500 kg/m^3 come precisato dagli autori. In figura 4.59 è riportata la distribuzione dei volumi calcolati nelle due modalità da cui risulta evidente che i due sono fortemente correlati ($R^2 = 0.89$). Al fine di mantenere una coerenza con altri studi effettuati (Comiti et al., 2006; Andreoli et al., 2007) si è scelto di calcolare il volume del singolo tronco basandosi sull'approccio cilindrico.

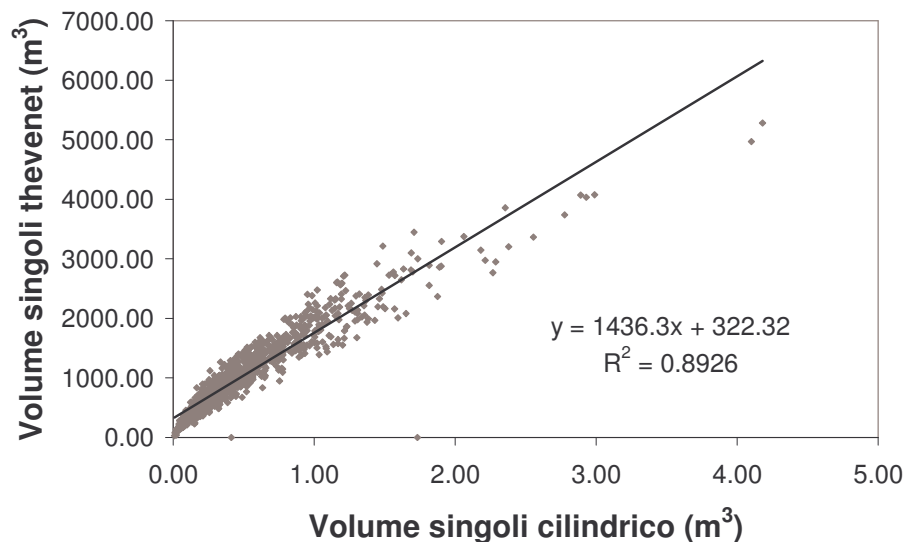


Figura 4.59 Confronto volumi dei singoli calcolati con i due metodi.

Il calcolo del volume degli accumuli è risultato più complesso poiché presentava diversi problemi. Prima fra tutti il fatto che la quantificazione tramite foto aeree non

consente la determinazione delle altezze, in secondo luogo per la mancanza in letteratura di un metodo validato. Si è così deciso di ricorrere a formulazioni diverse per definire un intervallo di valori. Il primo problema è stato risolto cercando una relazione statistica tra le aree degli accumuli misurati in campo e le rispettive altezze. Questa, come già spiegato nel paragrafo 4.3, non è risultata statisticamente significativa, di conseguenza si è scelto di optare per l'altezza mediana tra quelle degli accumuli misurati in campo, pari a 1 m. Tale altezza è stata utilizzata per calcolare il volume geometrico dell'ipotetico solido includente il volume di materiale legnoso. In seguito, questo volume è stato utilizzato nel calcolo del volume effettivo (ovvero escludendo il volume di aria dato dagli spazi vuoti) di tronchi e ramaglia applicando sia la formula di Thevenet et al., (1998) che quella ottenuta dai dati del Piave cercando una relazione tra volume geometrico e materiale misurabile all'interno dell'accumulo (eq. 3.4). L'andamento delle relazioni applicate agli accumuli del Fiume Piave è rappresentato in figura 4.60.

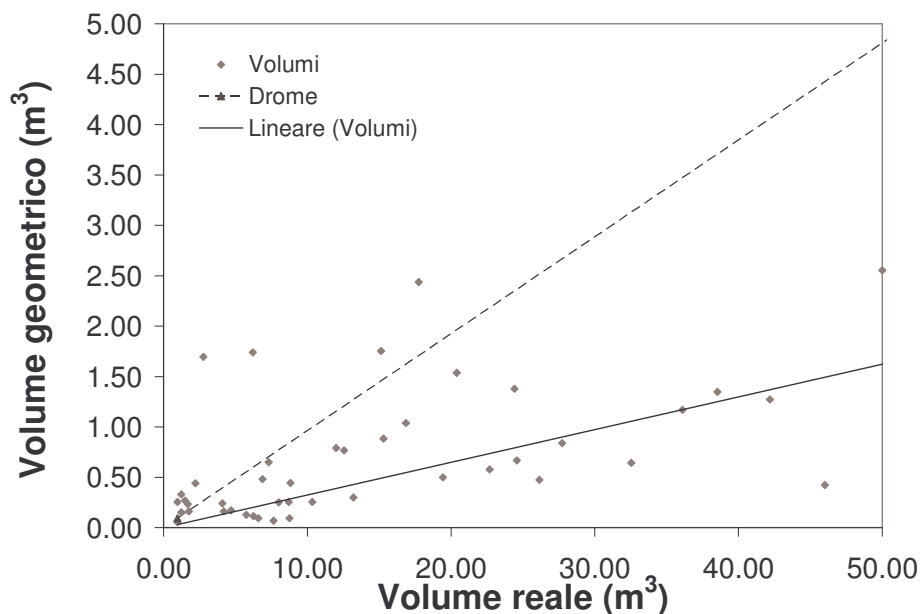


Figura 4.60 Confronto volumi dei singoli calcolati con i due metodi.

Dal grafico si deduce che applicando la regressione ottenuta in questo studio si ottiene una sottostima del volume reale probabilmente dovuta al fatto che in campo non sono stati misurati tutti gli elementi presenti all'interno dell'accumulo ma solo quelli

visibili e raggiungibili a differenza di quanto misurato da Thevenet et al., (1998). Il volume geometrico nel caso degli accumuli misurati tramite GIS su foto aeree non corrisponde, tuttavia, al parallelepipedo che racchiude l'accumulo dato bensì al solido avente per base l'area delimitata di ciascun accumulo e per altezza un valore costante e pari a 1 m (altezza mediana degli accumuli misurati in campo).

In base a quanto detto sono stati calcolati tre volumi di materiale legnoso relativi alla totalità degli elementi misurati tramite foto aerea nei sette tratti al fine di vedere quali fossero gli estremi dell'intervallo ricercato. Nel primo caso si è scelto di prendere come volume totale la somma dei volumi di tutti i tronchi riconoscibili sia singoli che appartenenti ad accumulo calcolati con la formula del cilindro: il volume è definito "Volume Misurabile, V_M ". Nel secondo e nel terzo caso è stato calcolato un volume totale dato dalla somma dei volumi dei singoli (non appartenenti ad accumulo) con il volume degli accumuli calcolato secondo due modalità: quella proposta da Thevenet et al., (1998) (eq. 3.3) e quella calcolata mediante la formula ottenuta dai dati di campo dei rilievi sul Piave (eq. 3.4). Il secondo volume di confronto è il "Volume Totale analisi campo, V_{AC} " mentre il terzo verrà denominato "Volume Totale formula di Thevenet, V_{AT} ".

Le due formule per il calcolo del volume reale degli accumuli sono chiaramente calcolate a partire dal volume geometrico che, come precedentemente descritto, è espresso come $V_G = A \cdot h$ dove A è l'area misurata e l'altezza h è la mediana delle altezze misurate in campo. Da questo momento in poi verrà considerato un volume normalizzato per ettaro di superficie d'alveo. In figura 4.61 sono rappresentati i volumi per ettaro dei tre casi considerati mentre in tabella 4.8 sono riportati il numero e il volume dei singoli e degli accumuli per ettaro nel secondo e terzo caso.

Tabella 4.8 Volumi e numero di singoli e accumuli per i casi II e III.

	Singoli	Accumuli
$V_{AC} (m^3/ha)$	0.89	2.78
$V_{AT} (m^3/ha)$	1.07	8.25

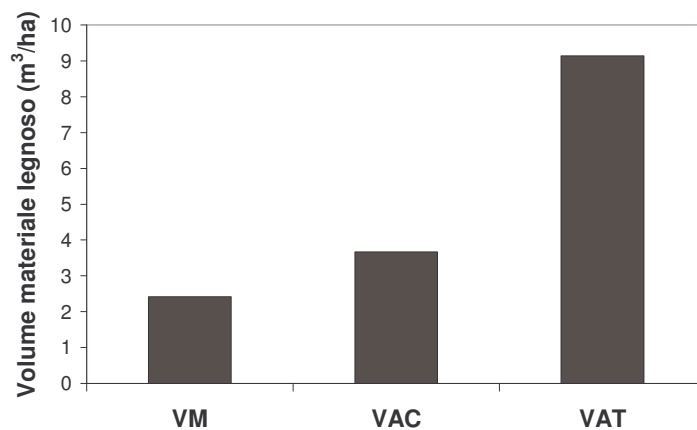


Figura 4.61 Confronto tra volumi per ettaro nei tre casi considerati.

Il volume ipotizzabile di materiale legnoso potrà essere variabile tra il minimo V_M pari a $2.42 \text{ m}^3/\text{ha}$ e il massimo V_{AT} pari a $9.14 \text{ m}^3/\text{ha}$. All'interno delle analisi successive verrà utilizzato quello intermedio V_{AC} definito in seguito nell'analisi statistica semplicemente come "Volume Totale", V_{TOT} .

4.6.1. Analisi geomorfologica dei tratti indagati

L'utilizzo delle foto aeree ha permesso la caratterizzazione morfologica dei tratti in esame al fine di studiare la distribuzione del materiale legnoso all'interno di essi. Diverse variabili sono state individuate quali la tipologia morfologica dell'alveo attivo, le unità morfologiche presenti, la loro dimensionale lunghezza lineare delle foreste ripariali sulle sponde dell'alveo attivo, la lunghezza lineare di eventuali difese spondali e l'area erosa. Nel grafico in figura 4.62 è riportata l'area in ettari dei singoli tratti analizzati. L'area complessiva analizzata è pari a circa 424 ha.

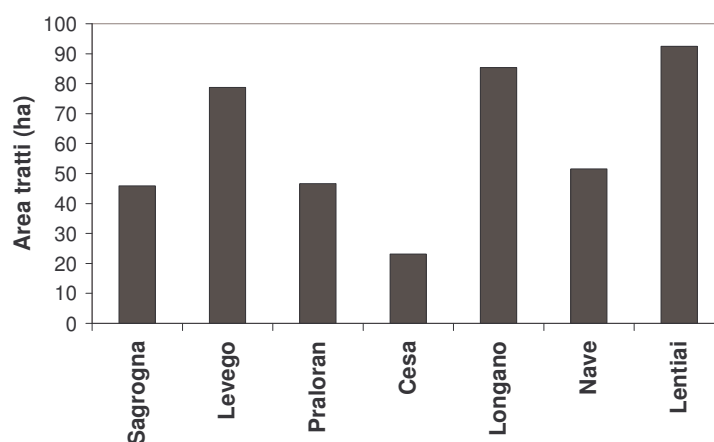


Figura 4.62 Estensione dell'alveo attivo (incluse isole) per i sette tratti analizzati.

La larghezza media dell'alveo è stata calcolata sia per le singole zone che per il tratto complessivo dividendo l'area del tratto per la sua lunghezza misurata seguendo la mezzeria dell'alveo. La larghezza media totale, la lunghezza e l'area per ogni tratto è riportata in tabella 4.9.

Tabella 4.9 Lunghezza e larghezza medie nel tratto considerato e all'interno delle singole zone.

	Lunghezza alveo medio (m)	Larghezza media (m)	Area (ha)
Totale	30271	354	424
Sagrogna	1188	375	46
Levego	2037	386	79
Praloran	2143	217	47
Cesa	1479	156	23
Longano	1744	489	85
Nave	1384	372	52
Lentiai	1963	470	92

All'interno di ogni tratto sono state delineate le sponde boscate e le difese spondali le cui lunghezze sono riportate in tabella 4.10 Le difese spondali si trovano solamente in corrispondenza del tratto di Sagroigna, Nave e Lentiai.

Nelle figure 4.63 e 4.64 sono rappresentate le percentuali di sponda occupata bosco e da opere di difesa spondale. E' evidente come le sponde boscate siano prevalenti in tutti i tratti tranne Longano e Lentiai.

Tabella 4.10 Sponde boscate e difese spondali nei tratti studiati., (totale delle due sponde destra e sinistra).

	Lunghezza difese spondali (m)	Lunghezza sponde boscate (m)
Sagroigna	201	2054
Levego	0	3521
Praloran	0	3528
Cesa	0	2162
Longano	0	1294
Nave	511	1937
Lentiai	594.3	1943

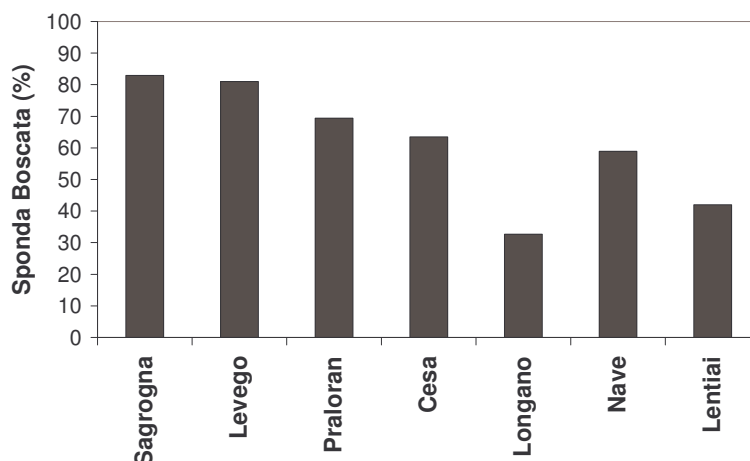


Figura 4.63 Lunghezza percentuale di sponde boscate nei tratti studiati.

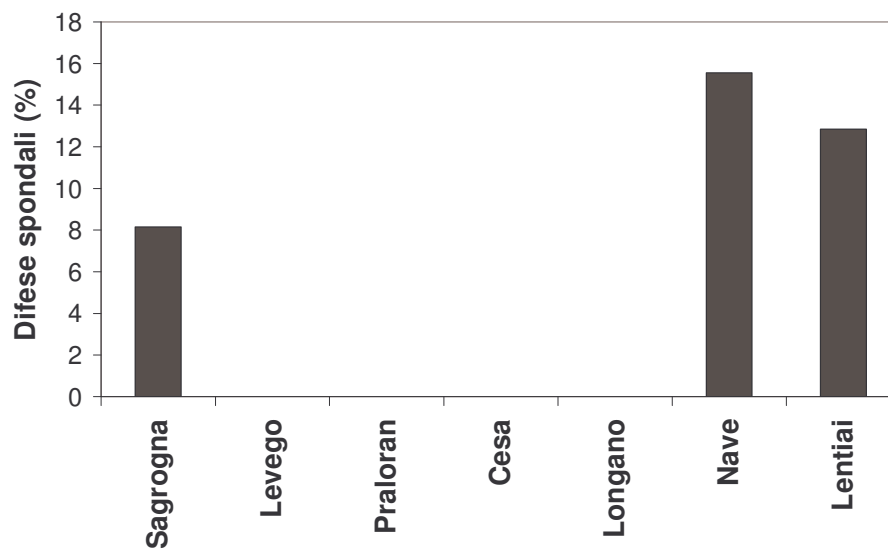


Figura 4.64 Lunghezza percentuale di difese spondali nei tratti studiati.

L'intero tratto tra Ponte nelle Alpi e Busche è stato inoltre caratterizzato riguardo alle superfici boscate erose durante l'evento del Novembre 2002 (avente un tempo di ritorno stimato pari a 10 – 15 anni, Da Canal, 2006) e calcolata grazie ai dati forniti da Da Canal, (2006). In figura 4.65 è riportata la curva cumulata delle aree boscate erose nel tratto considerato, ponendo uguale a zero il valore a Ponte nelle Alpi e dividendo tutte le superfici per il valore totale. Lungo il corso del Piave si evidenziano tratti a diverso contributo potenziale di legname in alveo. Dopo un primo tratto a forte erosione fino a Sagrogna vi è un lungo tratto più stabile fino a Ponte S. Felice (Valle di Cesa). I tratti successivi, tra cui Longano, hanno subito maggiori erosioni al bosco ripariale. A valle del Cordevole il contributo potenziale del legname incrementa molto fino a Lentiai dove diminuisce bruscamente.

La suddivisione dell'alveo in unità morfologiche per tutto il tratto considerato è riportata in tabella 4.11 (vedi capitolo 3).

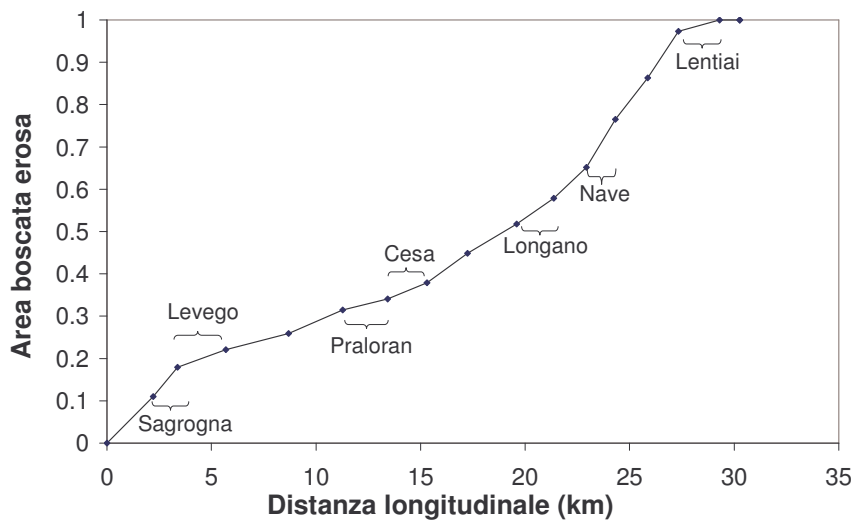


Figura 4.65 Curva cumulata delle superfici boscate erose durante la piena del 2002 nel tratto da Ponte nelle Alpi e Busche (Belluno).

Tabella 4.11 Numero, area e area media delle unità morfologiche presenti nell'intero tratto considerato.

Unità morfologiche	Numero	Area (ha)	Area Media (ha)
Barra centrale alta (BCA)	15	43.9	2.9
Barra centrale bassa (BCB)	69	42.1	0.6
Barra laterale alta (BLA)	50	220.0	4.4
Barra laterale bassa (BLB)	81	79.1	1.0
Canali di morta (CM)	32	9.7	0.3
Canale principale (CP)	1	81.4	81.4
Canali secondario (CS)	12	5.3	0.4
Isole giovani (IG)	48	7.9	0.2
Isole mature (IM)	20	18.5	0.9
Isole pioniere (IP)	58	0.3	0.0
Isole pioniere composte (IPC)	96	1.4	0.0

Nei grafici successivi (fig. 4.66, 4.67) si riportano la distribuzione delle aree e del numero di unità morfologiche distinguendo tra isole, canali e barre. Si può notare dal grafico 4.66a una netta preponderanza di area occupata da barre laterali rispetto a quelle centrali, soprattutto barre laterali alte. Tra i canali una grande area è occupata dal canale principale attivo mentre i canali secondari rappresentano una percentuale quasi nulla. Le barre centrali alte occupano un'area prossima a quella occupata dalle barre centrali basse. Rispetto al numero di unità per ettaro sono presenti più barre laterali basse e barre centrali basse, mentre poche risultano essere le barre centrali alte la cui suddivisione è tuttavia molto soggettiva.

Tra le isole (fig. 4.66b) la densità maggiore è quella delle isole pioniere, a seguire quella delle isole mature mentre le isole pioniere presentano una superficie complessiva molto bassa che tuttavia è rappresentata da un numero molto alto di elementi (fig. 4.67b). Il numero di isole cresce in base alla sequenza di sviluppo dell'isola.

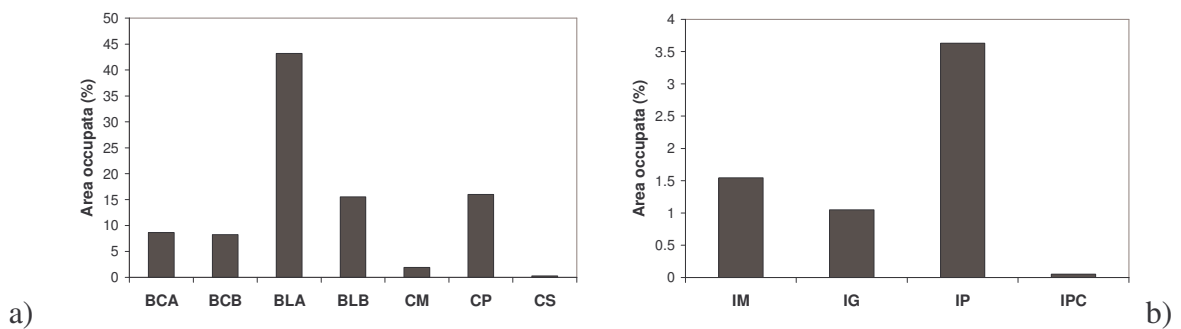


Figura 4.66 Ripartizione areale delle unità morfologiche nel tratto considerato: a) barre e canali; b) isole.

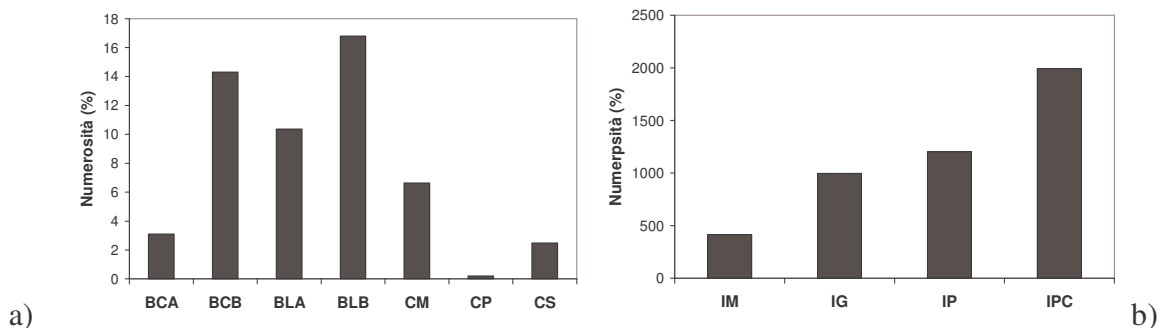


Figura 4.67 Ripartizione numerica delle unità morfologiche nel tratto considerato: a) barre e canali; b) isole.

Le unità morfologiche sono state poi raggruppate per ottenere delle categorie accorpate per effettuare ulteriori analisi statistiche. Nello specifico sono stati individuati cinque gruppi:

- *Barre Alte* che comprendono le barre centrali e laterali alte;
- *Barre Basse* che comprendono le barre centrali e laterali basse;
- *Canali* che uniscono il canale principale, i canali secondari e di morta;
- *Isole* per raggruppare isole giovani e mature;
- *Isole Pioniere* che comprendono le isole pioniere singole e composte.

Le isole sono state suddivise in due categorie separate poiché le isole pioniere sono geneticamente diverse, come spiegato nel capitolo 1. Per queste nuove categorie sono state analizzate la superficie e il numero percentuale (fig. 4.68).

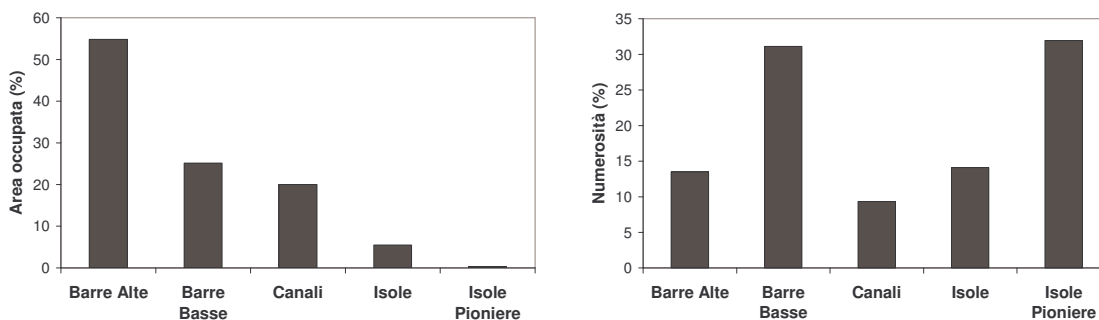


Figura 4.68 Ripartizione areale e numerica delle categorie morfologiche.

Un'ulteriore analisi è stata effettuata per valutare la distribuzione delle categorie morfologiche nei vari tratti studiati. In figura 4.69 sono riportate le distribuzioni areali in percentuale delle categorie suddivise nei vari tratti.

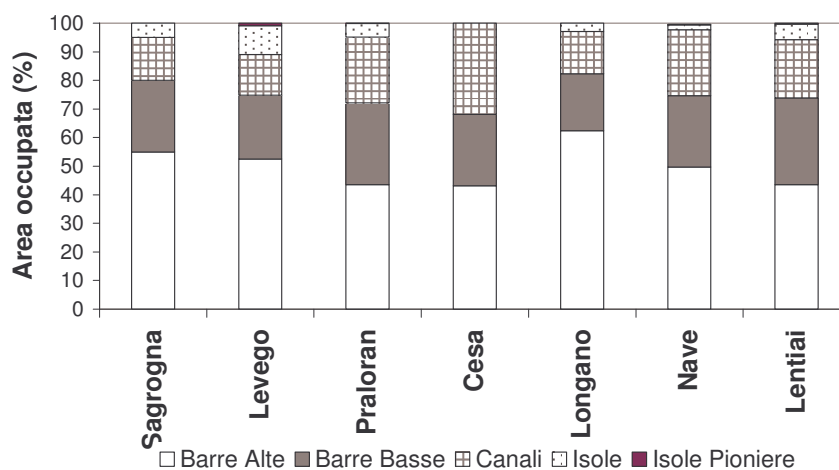


Figura 4.69 Distribuzione areale delle categorie morfologiche nei tratti studiati.

Lo studio della distribuzione areale delle isole è stata suddivisa secondo le due categorie (fig. 4.70). Una differenza evidente è presente in corrispondenza dei due tratti Praloran e Longano dove prevalgono le isole rispetto alle isole pioniere; in corrispondenza di Cesa sono presenti solo isole e nello specifico una sola isola giovane. Il tratto di Levego presenta in assoluto una densità areale maggiore per entrambe le categorie di isole legata alla presenza della grande isola matura nella parte più a monte del tratto. Quest'isola è recente e si è formata attorno agli anni '80.

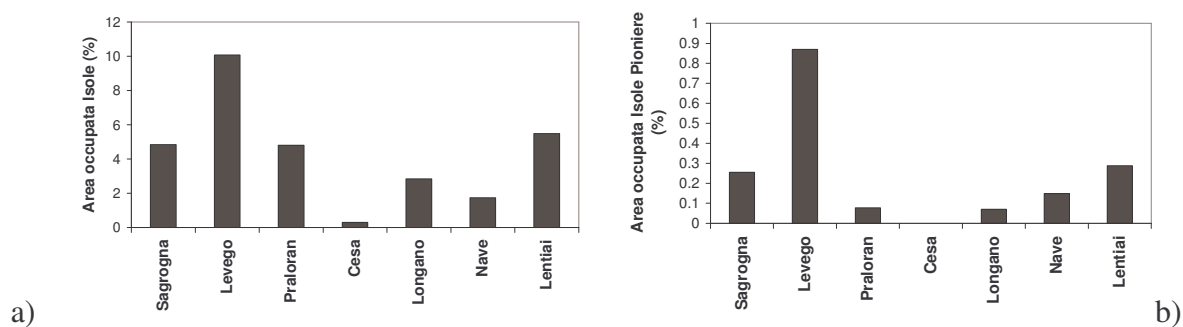


Figura 4.70 Ripartizione areale delle Isole a) e delle isole pioniere b) nei tratti studiati.

4.6.2. Ripartizione del materiale legnoso nei sette tratti e nel tratto totale

Lo studio delle caratteristiche del materiale legnoso viene qui riportato riferendosi prima al tratto totale esaminato, in seguito rispetto alle singole zone e riportato rispetto al volume, V_M , ovvero usando solamente i tronchi riconoscibili da foto e al volume, V_{AC} , che comprende la somma del volume dei singoli e quello degli accumuli (vedi paragrafo 4.6).

La percentuale di volume di materiale legnoso è distribuita in maniera diversa tra le diverse categorie morfologiche nei vari tratti come viene riportato in figura 4.71 riferendosi al solo V_{AC} . La maggior parte del volume di materiale legnoso è distribuito sulle barre alte sia a Sagrognia mentre a Levego si riscontra un volume maggiore sulle barre basse. Sia a Nave che a Longano il volume è concentrato nei canali tuttavia sia a Levego che a Longano e a Lentiai il volume sembra essere distribuito anche sulle isole, mentre le isole pioniere non sembrerebbero essere caratterizzate da materiale legnoso se non a Praloran e in minima parte a Sagrognia. A cesa non si riscontra volume legnoso se non all'interno delle barre alte e basse.

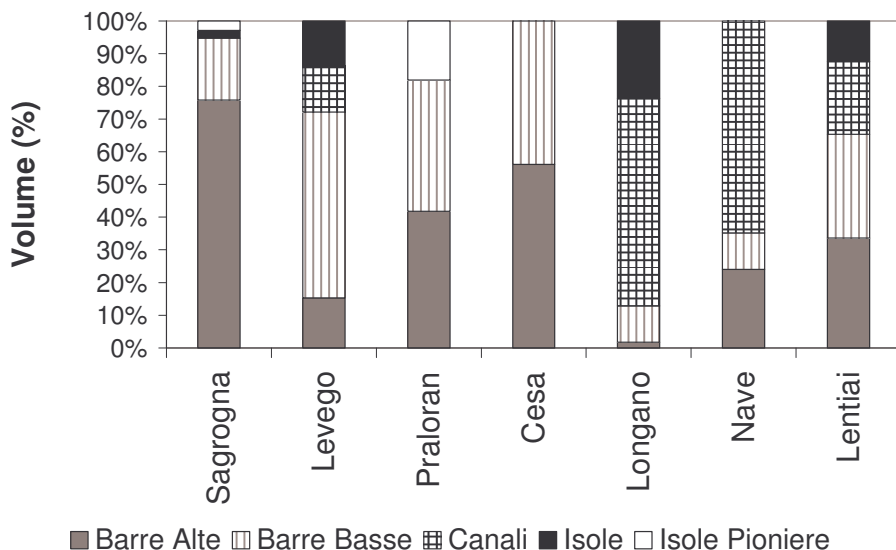


Figura 4.71 Percentuale di volume di materiale legnoso presente in ogni tratto distribuito secondo le categorie morfologiche.

Nei grafici che seguono si riportano il volume e il numero di elementi legnosi per ettaro distribuiti nelle unità morfologiche (fig. 4.72) e i volumi e il numero di elementi per ettaro per i singoli e gli accumuli distribuiti sempre nelle unità morfologiche (fig. 4.73). I grafici relativi al volume totale non sono distribuiti in maniera omogenea a causa della distribuzione del volume del materiale legnoso rispetto all'area delle isole. Queste, infatti ricoprono un'area molto bassa rispetto alle barre ed ai canali di conseguenza la concentrazione di volume per ettaro di area sarà molto alta e di conseguenza molto alto l'errore. Tra gli elementi singoli e gli accumuli la distribuzione è molto simile a quella dei volumi totali rispettivamente V_M e V_{AC} , tuttavia risulta evidente la presenza dei soli accumuli nelle isole come pure del solo volume V_{AC} che sembrerebbe essere influenzato principalmente da questi. Di questo se ne discuterà in seguito quando verranno analizzate nel dettaglio le correlazioni tra variabili.

Dal grafico in fig. 4.73 risulta una forte distribuzione di maggior parte degli elementi nelle barre mentre tra le isole le pioniere composte sembrerebbe essere quelle caratterizzate da maggior numero di elementi legnosi anche se sono presenti anche all'interno delle isole mature e giovani. In realtà il dato è indicativo considerata la visione limitata tramite foto aeree del materiale legnoso all'interno delle isole come verrà spiegato in forma più precisa nel capitolo 5.

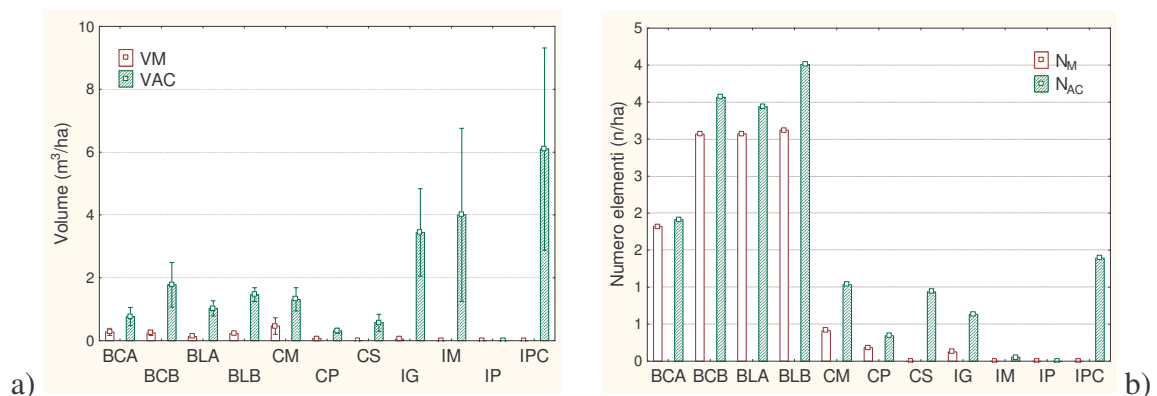


Figura 4.72 Distribuzione volume minimo e massimo a) e ripartizione numerica b) nelle unità morfologiche.

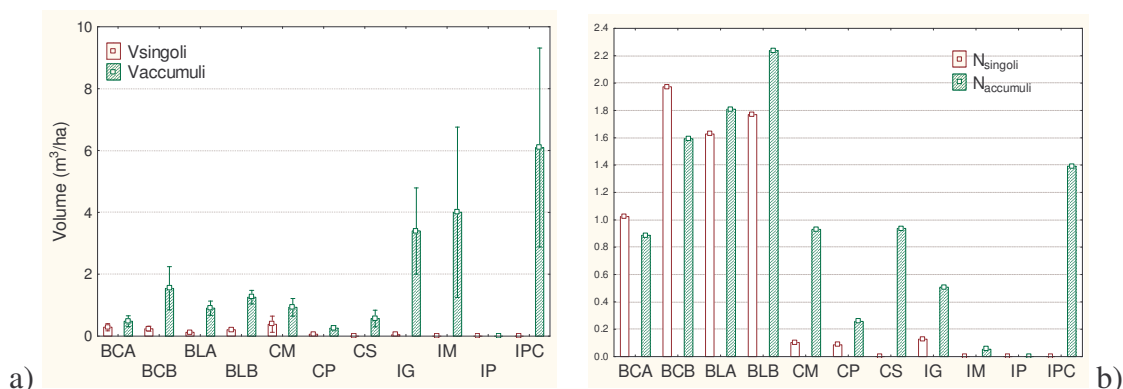


Figura 4.73 Distribuzione volume minimo e massimo e dei singoli e degli accumuli a) ripartizione numerica dei singoli e degli accumuli b) nelle unità morfologiche.

Nei grafici che seguono (fig. 4.74 – 4.75) sono invece riportate le distribuzioni di volume e il numero di elementi legnosi nei due casi di volumi totali, V_M e V_{AC} , e nel caso dei singoli e degli accumuli, considerando questa volta la seconda suddivisione delle unità morfologiche per categorie. Quello che appare più evidente da questa suddivisione è come la distribuzione di materiale legnoso è maggiormente concentrata nelle isole mentre anche se a livello di numero di elementi per ettaro i canali tendono ad essere caratterizzati da più elementi rispetto alle isole.

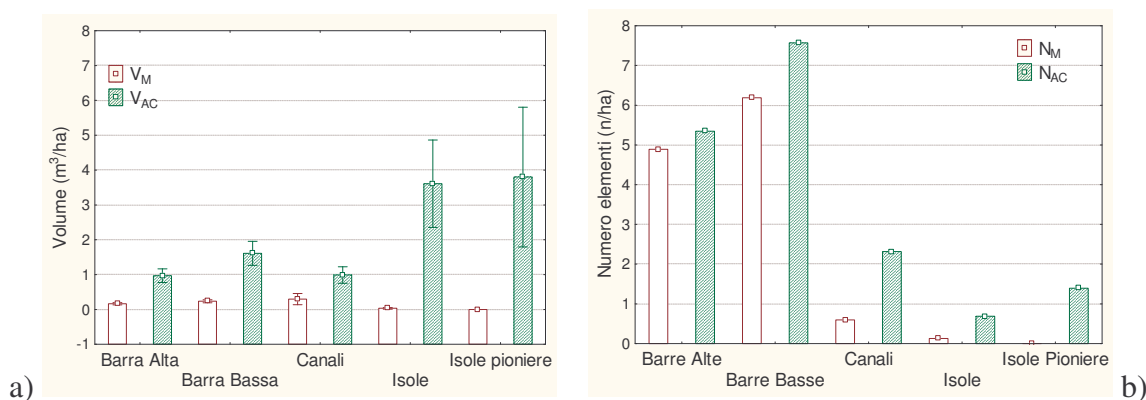


Figura 4.74 Distribuzione volume minimo e massimo a) e ripartizione numerica b) nelle categorie di unità morfologiche individuate.

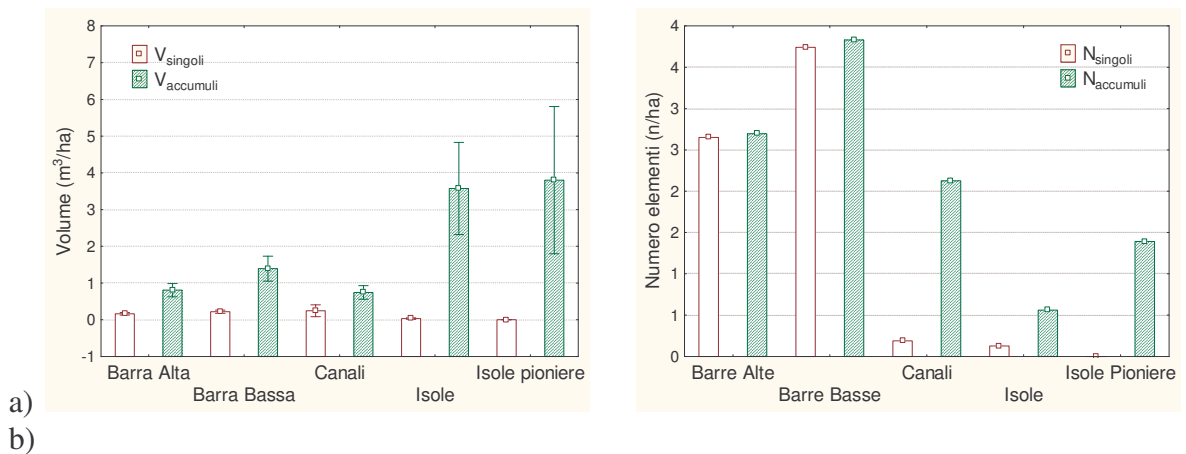


Figura 4.75 Distribuzione volume minimo e massimo e dei singoli e degli accumuli a) ripartizione numerica dei singoli e degli accumuli b) nelle categorie di unità morfologiche individuate.

Nella figura 4.76 sono rappresentati i volumi per ettaro distribuiti nelle varie zone, mentre la distribuzione di volume dei singoli e degli accumuli per le varie zone è riportata nei grafici delle figure 4.77. Le zone caratterizzate da maggior volume sono Levego e Longano mentre Praloran, Nave e Cesa sono u tratti con minor materiale legnoso. Gli accumuli prevalgono sui singoli quasi in tutti i tratti eccetto Levego dove i due volumi si compensano e Praloran dove il volume di singoli supera anche se di poco il volume degli accumuli.

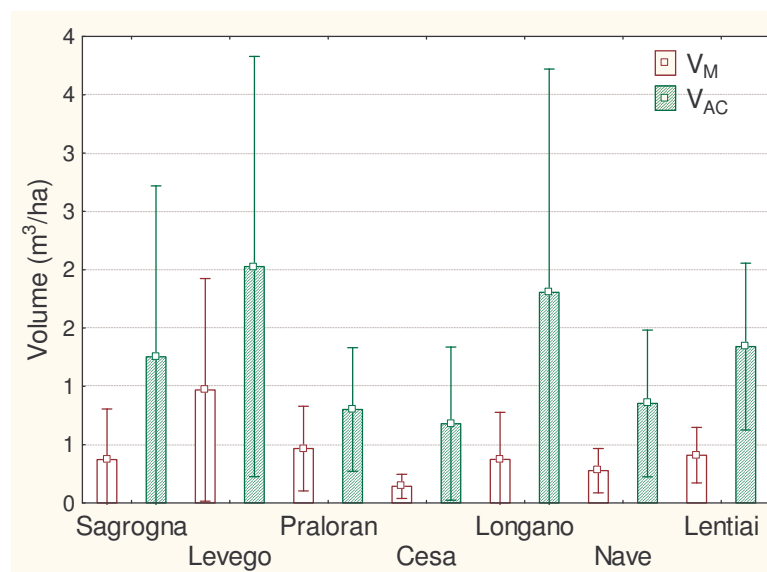


Figura 4.76 Densità volumetrica di V_M e V_{AC} nelle singole zone.

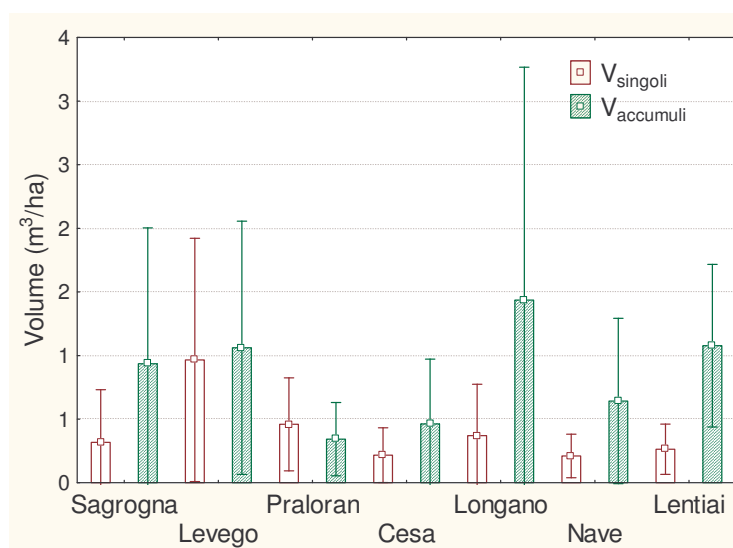


Figura 4.77 Densità volumetrica di singoli e accumuli nelle singole zone.

Le frequenze delle classi diametriche e di lunghezza della totalità dei tronchi individuati dalle foto aeree sono riportate nei grafici 4.78 e 4.79. Entrambe non hanno una distribuzione di tipo normale e la concentrazione maggiore si verifica per le classi tra i 15 cm e i 35 cm per il diametro e tra i 3 m e gli 11 m per le lunghezze. Si riscontrano diversi elementi caratterizzati da diametri piuttosto grandi anche tra i 50 e i 60 cm, a differenza di quanto accade tra le classi diametriche dei valori ricavati dai rilievi di campo, tuttavia potrebbe essere legato all'errore della misura tramite foto aerea.

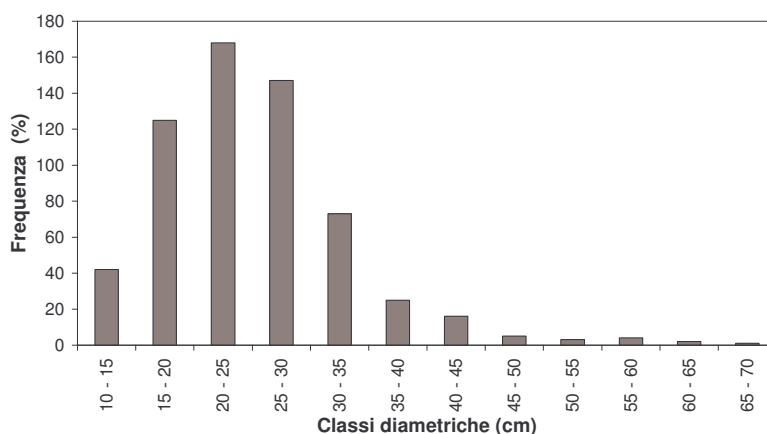


Figura 4.78 Frequenza delle classi diametriche dei tronchi nel tratto di studio.

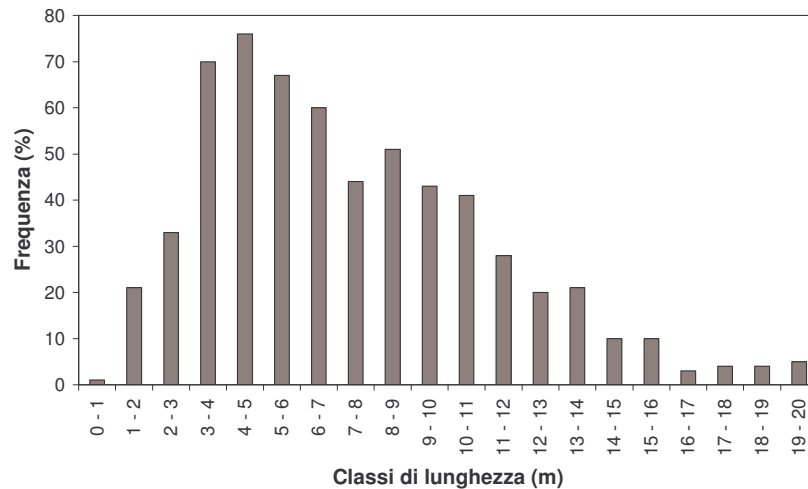


Figura 4.79 Frequenza delle classi di lunghezza dei tronchi nel tratto di studio.

In figura 4.80 sono riportate le classi di area degli accumuli misurati nel tratto studiato da cui si evince che la maggior parte degli accumuli ha un'area inferiore ai 10 m².

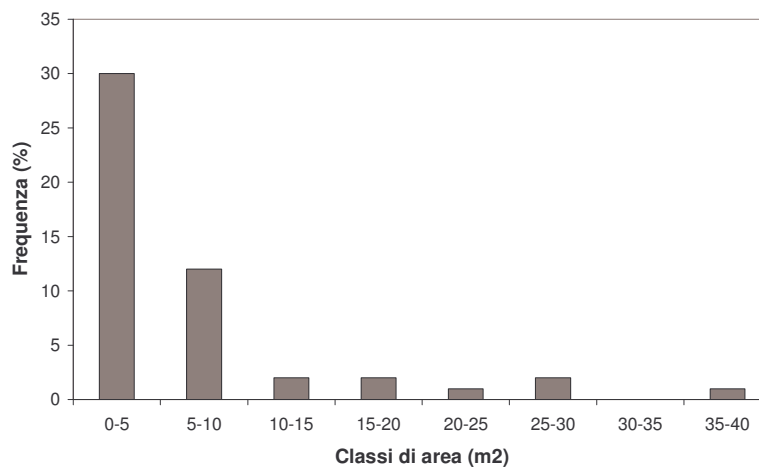


Figura 4.80 Frequenza delle classi di area degli accumuli nel tratto di studio.

Nelle figure 4.81 – 4.84 sono riportate le classi diametriche per ogni tratto studiato. La distribuzione è simile come andamento non normale. Particolare è Cesa, dove il numero di elementi è basso rispetto alle altre zone e mancano tronchi con dimensioni superiori ai 35 cm. Nelle figure 4.85 – 4.88, invece sono riportate le classi di lunghezza dei tronchi nei tratti studiati. Anche in questo caso Cesa si differenzia dalle altre zone, non solo per il numero ma anche per la distribuzione che sembra essere caratterizzata da poche classi le quali presenti con due frequenze ricorrenti.

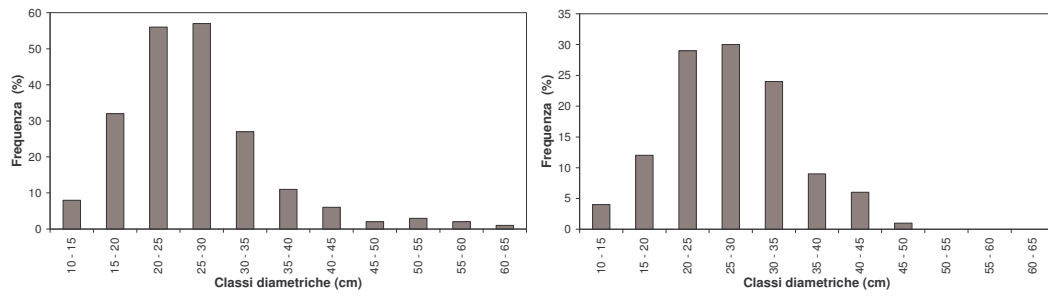


Figura 4.81 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Sagrona e Levego.

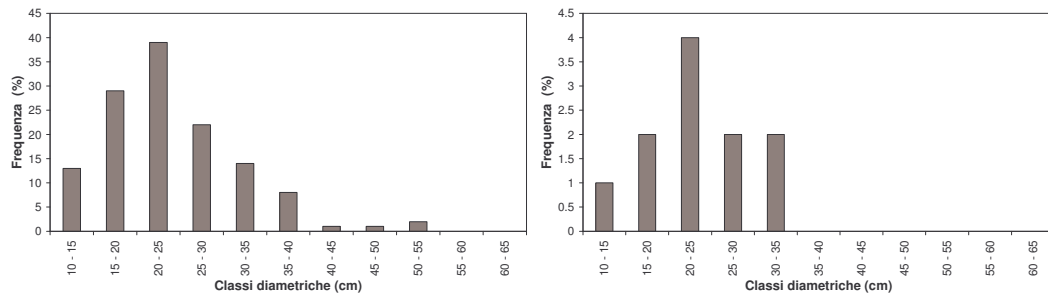


Figura 4.82 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Praloran e Cesa.

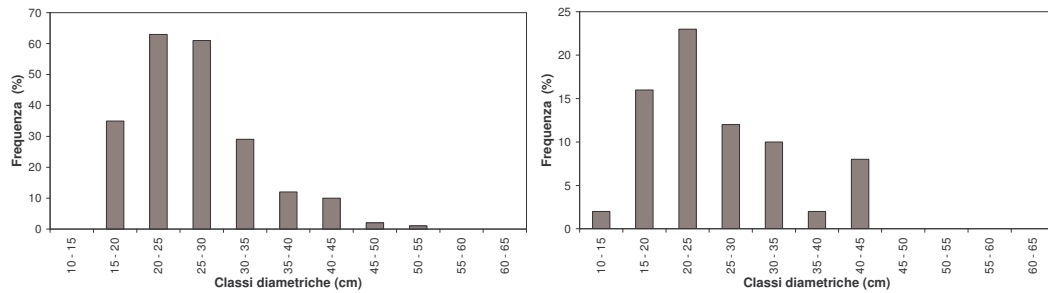


Figura 4.83 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Longano e Nave.

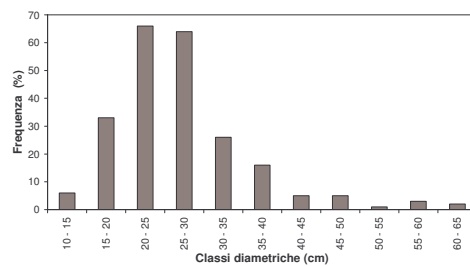


Figura 4.84 Distribuzione delle classi diametriche nei tratti di Lentiai.

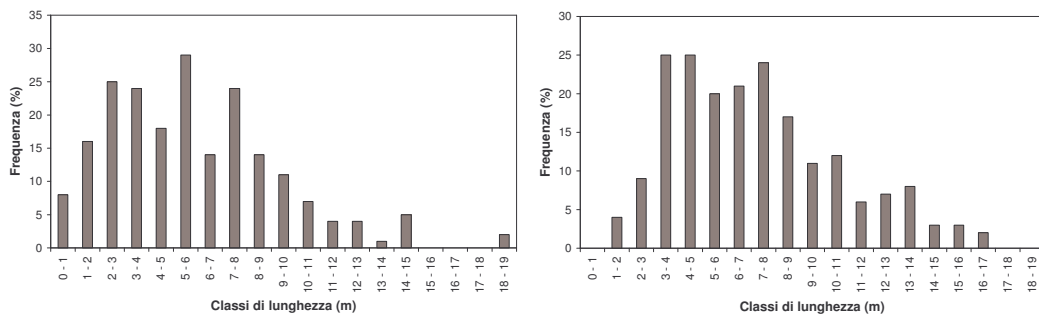


Figura 4.85 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Sagroga e Levego.

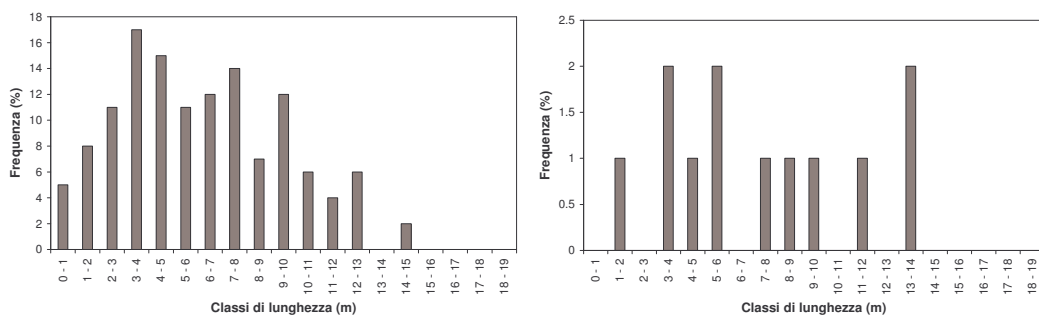


Figura 4.86 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Praloran e Cesa.

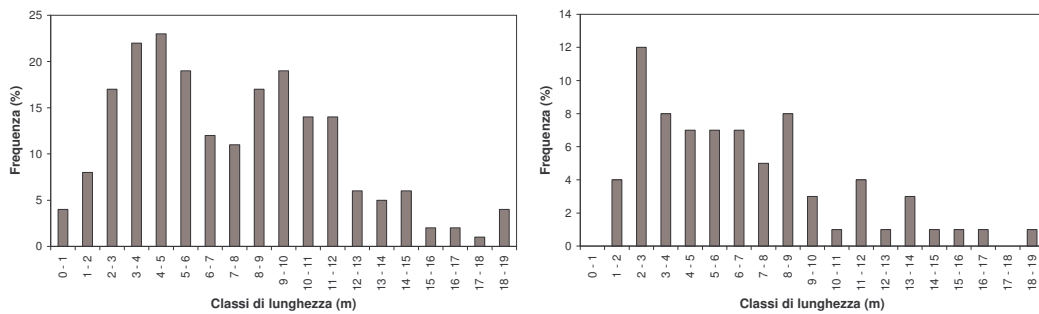


Figura 4.87 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Longano e Nave.

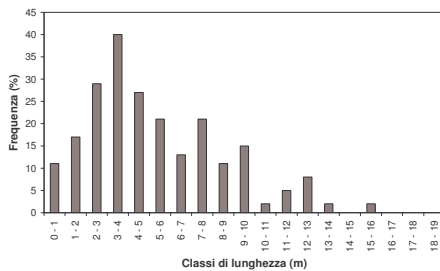


Figura 4.88 Distribuzione delle classi di lunghezza nei tratti di Lentiai.

Un ultimo aspetto considerato è la direzione dei tronchi singoli rispetto alla direzione media del canale in ogni tratto (fig. 4.89). Lo scostamento mediamente è attorno ai 50° dalla direzione del canale e i valori maggiori si hanno in corrispondenza dei tratti Sagrogna, Cesa e Nave.

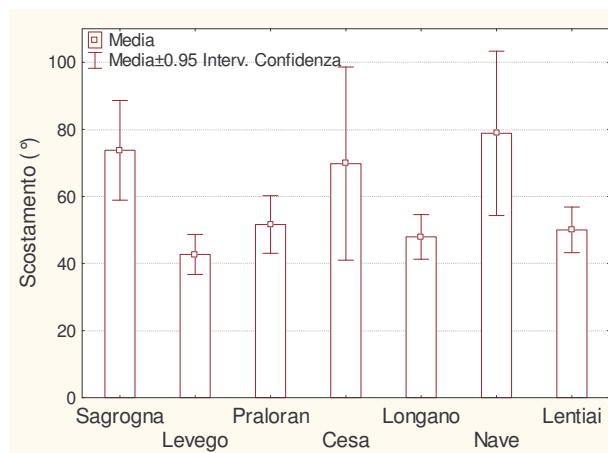


Figura 4.89 Distribuzione dello scostamento della direzione media dei tronchi dalla direzione del canale per ogni tratto.

4.6.2.1. Sagrogna

Il tratto di Sagrogna ha una morfologia di tipo *wandering* caratterizzato dalla presenza di estese barre alte e basse (fig. 4.90). Nel tratto è presente una sponda boscata per circa l' 80 % della lunghezza della sponda, mentre un 8% è costituito da difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area boscata erosa calcolata rispetto all'evento di piena del 2002 pari a 0.009 ha. Assumendo una massa media di materiale legnoso pari a 150 m³/ha per tali formazioni boschive, risulta che l'input di materiale legnoso da questo tratto è pari a 1.35 m³.

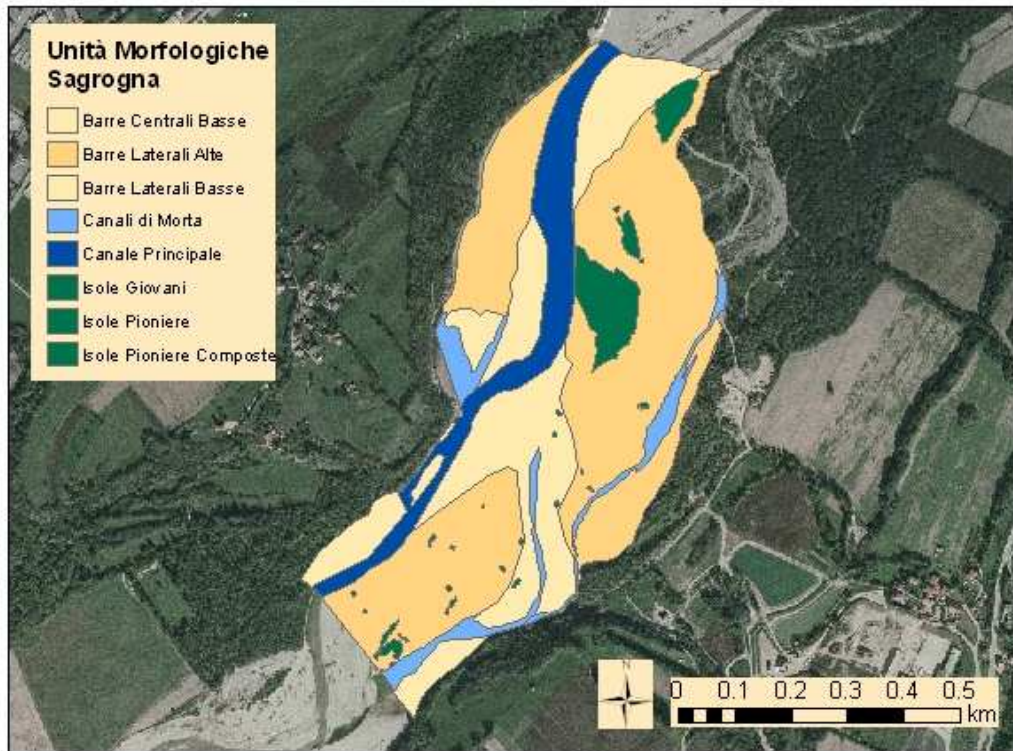


Figura 4.90 Unità morfologiche all'interno del tratto di Sagroña.

Il tratto è occupato per gran parte dell'area da barre alte laterali (60%) con un 25% di barre laterali basse (fig. 4.91 – a). E' caratterizzata dalla presenza di molte isole pioniere e da un'isola giovane piuttosto estesa (fig. 4.91 – b).

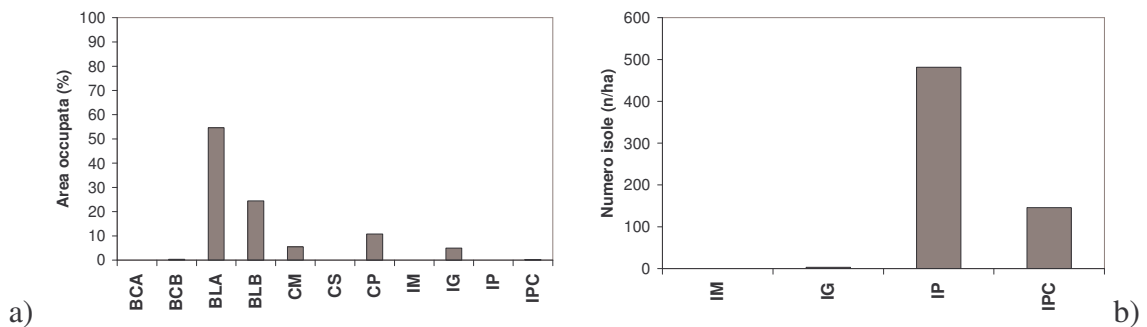


Figura 4.91 Distribuzione percentuale delle aree delle unità morfologiche a) e distribuzione numerica delle isole b) all'interno del tratto di Sagroña.

Il volume di materiale legnoso è distribuito prevalentemente sulle barre laterali basse e sulle barre centrali alte, tuttavia si riscontrano volumi anche all'interno del canale principale (fig. 4.92) spesso causata dalla presenza di vegetazione sulla sponda che facilita

il rallentamento dei pezzi. Sia i singoli che gli accumuli presentano un volume distribuito principalmente sulle barre basse (4.93a) mentre la numerosità è prevalente in generale sulle barre laterali e in netta preponderanza sulle isole pioniere composte (4.93b). Dalla figura 4.94 risulta, invece, evidente come il materiale tenda a disporsi principalmente in sinistra idrografica, mentre in destra il materiale sia quasi del tutto assente.

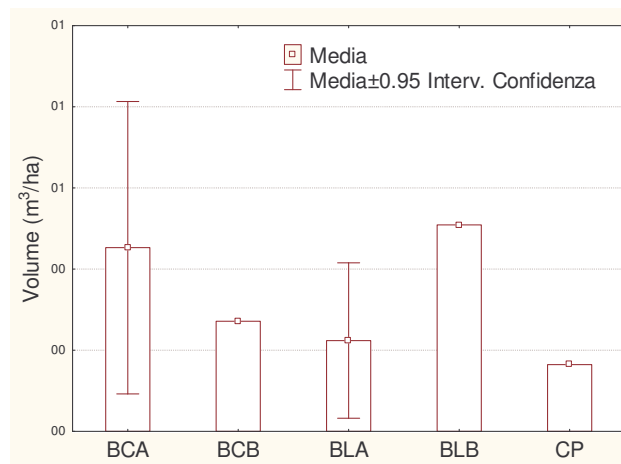


Figura 4.92 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Sagogna.

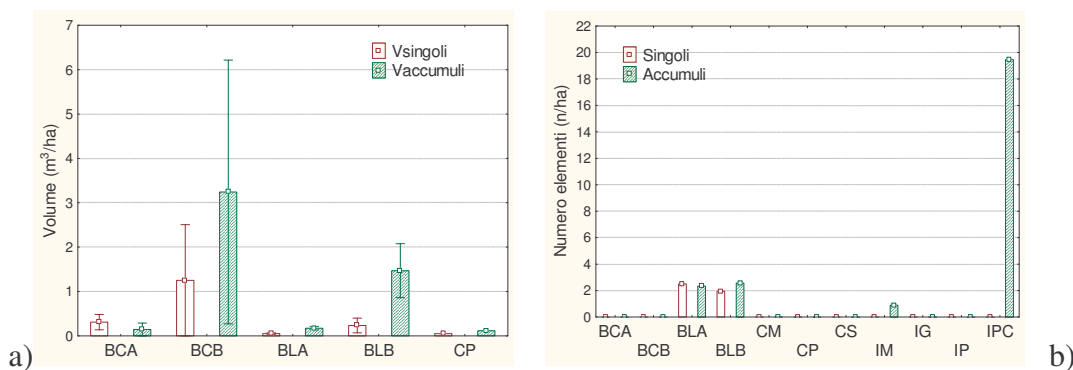


Figura 4.93 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Sagogna.

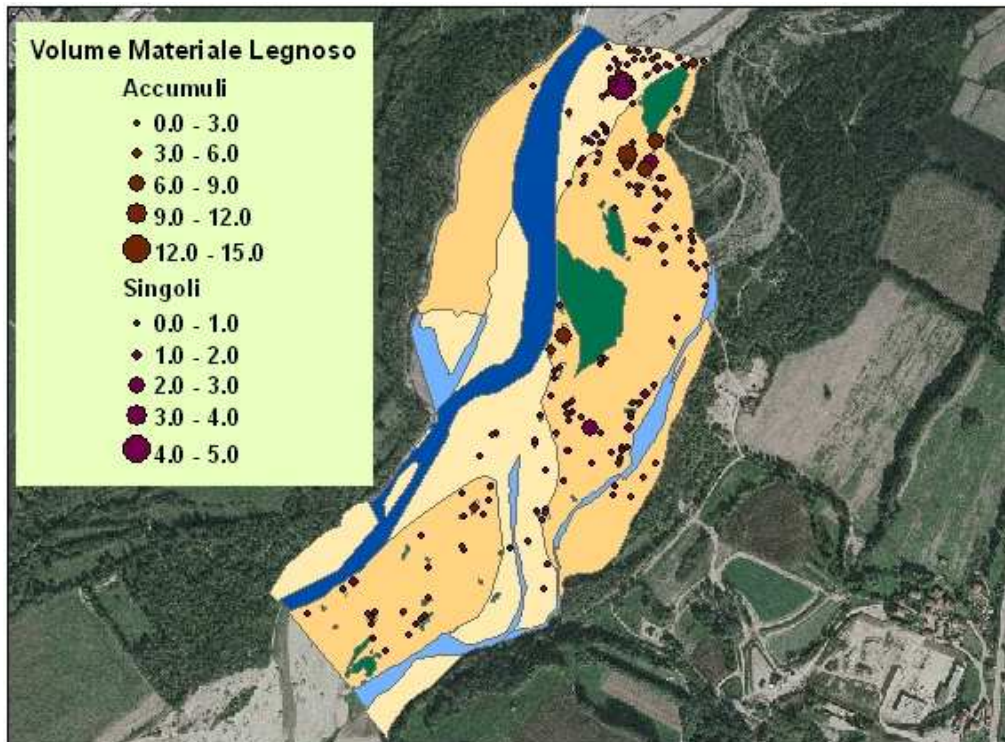


Figura 4.94 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche tratto di Sagroga.

4.6.2.2. Levego

Il tratto di Levego ha una morfologia a canali intrecciati con una media di 2 canali attivi. La distribuzione delle unità morfologiche è rappresentata in figura 4.95. La linea boscata che costeggia il canale principale ricopre circa il 70 % della sponda, mentre non sono presenti difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area boscata erosa calcolata rispetto all'ultimo evento di piena del 2002 pari a 0.016 ha, di conseguenza assumendo anche in questo caso una massa boschiva media di 150 m³/ha risulta un input di materiale legnoso da questo tratto pari a 2.46 m³.

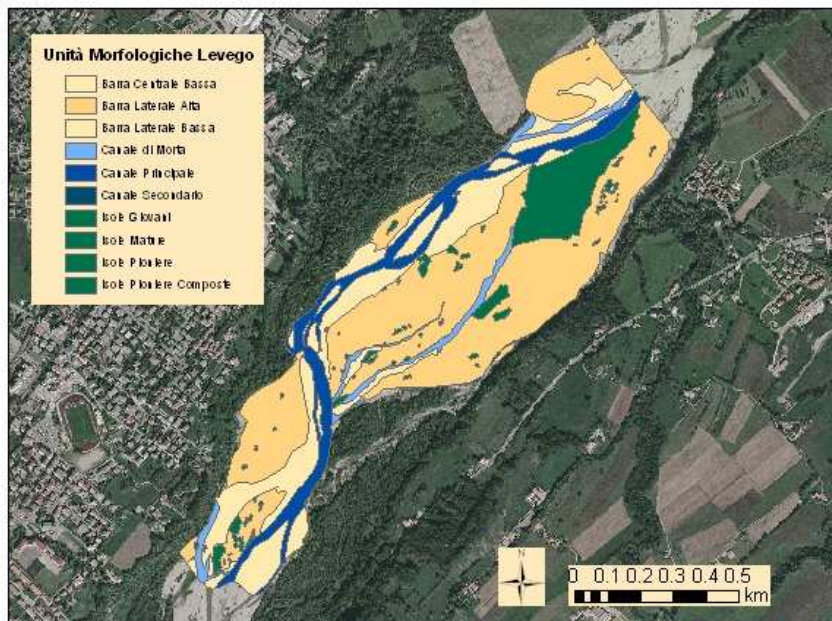


Figura 4.95 Unità morfologiche all'interno del tratto di Levego.

Essendo il tratto a canali intrecciati, si ha una discreta presenza di barre centrali di tipo basso; la tendenza è quella di tante piccole barre basse in prossimità del canale mentre la maggior parte dell'area è occupata dalle barre laterali alte (fig. 4.96a). Il tratto di Levego è caratterizzato da un grande numero di isole pioniere ma soprattutto da un'isola matura di notevole dimensioni (6.42 ha) la cui formazione risale agli anni '80 (Da Canal, 2006).

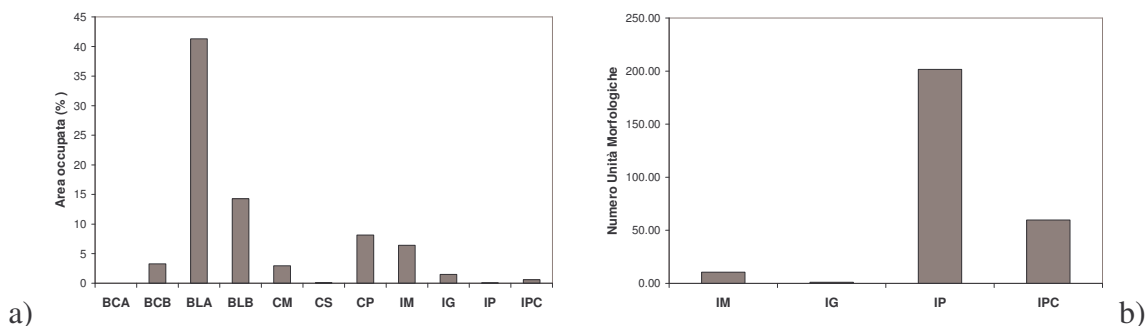


Figura 4.96 Distribuzione delle aree percentuali delle unità morfologiche a) e della numerosità delle isole b) all'interno del tratto di Levego.

Il volume di materiale legnoso è distribuito principalmente sulle barre basse e in minima parte sulle barre laterali alte e nel canale principale (fig. 4.97). I singoli e gli accumuli presentano un volume comparabile e a volte il volume dei singoli è quasi superiore eccetto nel canale principale dove prevale il volume di accumuli (fig. 4.98a). In numero prevalgono nettamente sulle barre e qualche elemento è riscontrabile anche all'interno dei canali di morta (fig. 4.98b). La maggior parte del volume di materiale legnoso, in particolare gli accumuli, tende a concentrarsi subito a valle della grande isola matura (fig. 4.99).

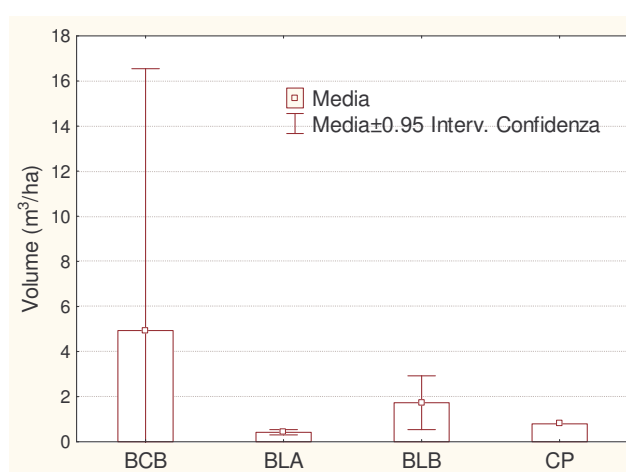


Figura 4.97 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Levego.

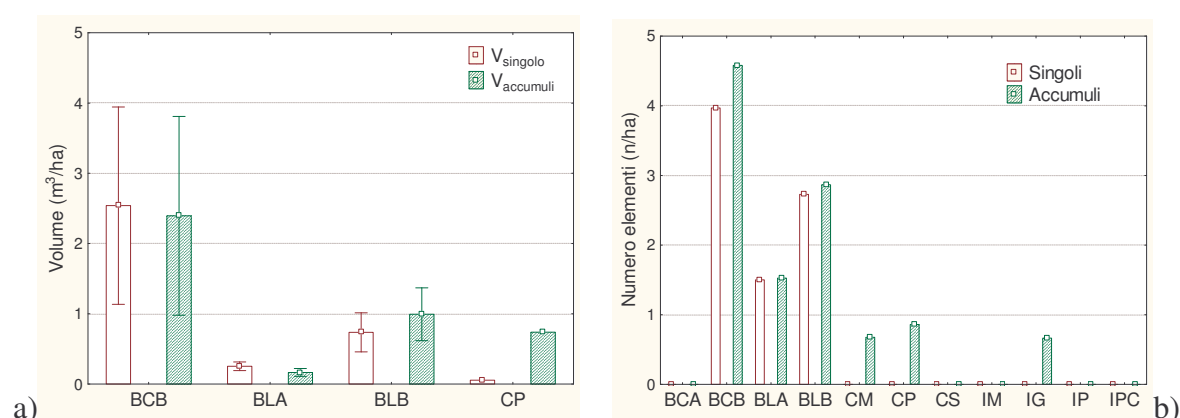


Figura 4.98 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Levego.

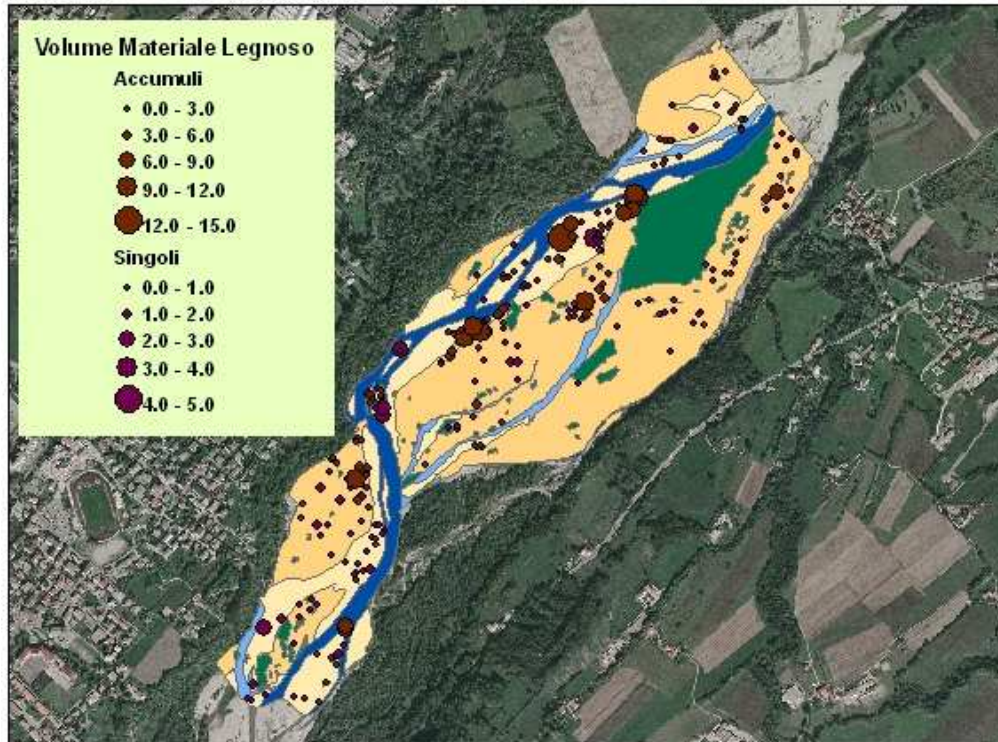


Figura 4.99 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Levego.

4.6.2.3. Praloran

Il tratto di Praloran ha come Sagrognna una morfologia di tipo *wandering* (fig. 4.100). All'interno del tratto la sponda boscata ricopre circa un 70 % della sponda, mentre non sono presenti difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area erosa calcolata rispetto all'ultimo evento di piena del 2002 pari a 0.013 ha quindi considerando un' area media boscata di 150 m³/ha il materiale legnoso in input nel tratto è stato pari a 1.97 m³.

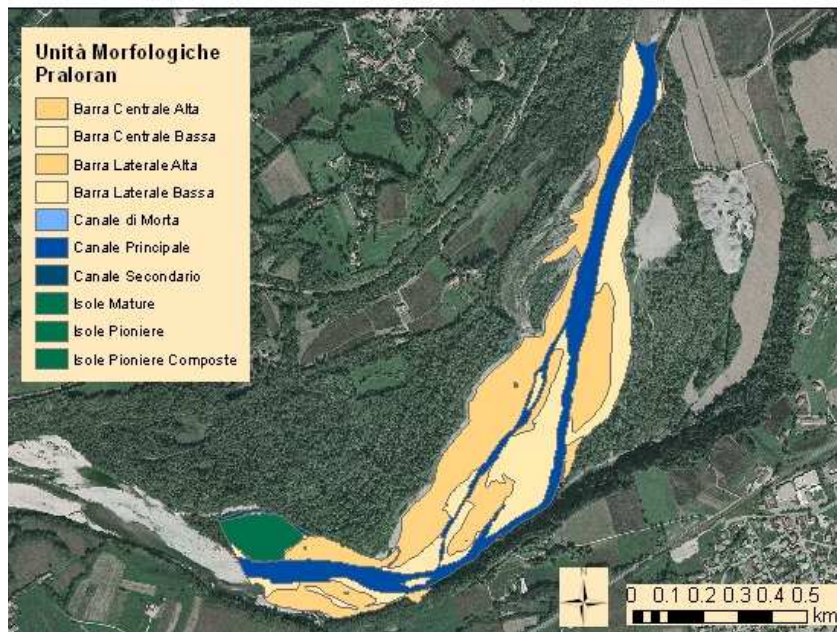


Figura 4.100 Unità morfologiche all'interno del tratto di Praloran.

Anche questo tratto è caratterizzato prevalentemente da barre laterali alte, tuttavia l'area occupata dalle altre tipologie di barre è confrontabile con la prima (fig. 4.101a), alto è il numero di canali di morta presenti (fig. 4.101b).

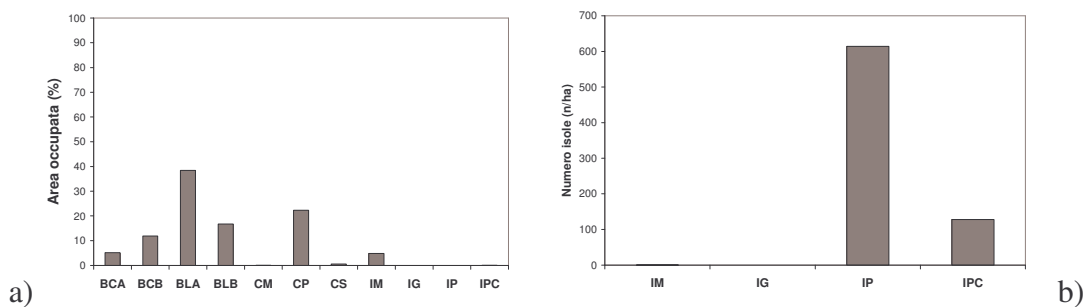


Figura 4.101 Distribuzione delle unità morfologiche all'interno del tratto di Praloran.

Il materiale legnoso sembra esser distribuito uniformemente tra tutte le barre e in minor quantità nel canale mentre non è presente al interno di isole (fig. 4.102). Il volume dei singoli è confrontabile con il volume degli accumuli con una prevalenza dei primi sulle barre laterali basse e dei secondi sulle barre centrali alte (fig. 4.103). La maggior parte del materiale legnoso è distribuito in destra orografica (fig. 4.104), da considerare che in sinistra le barre sono accessibili anche ai mezzi di trasporto e attualmente è in atto un opera di rinforzamento della sponda sinistra poiché la parte più a valle del tratto è in erosione.

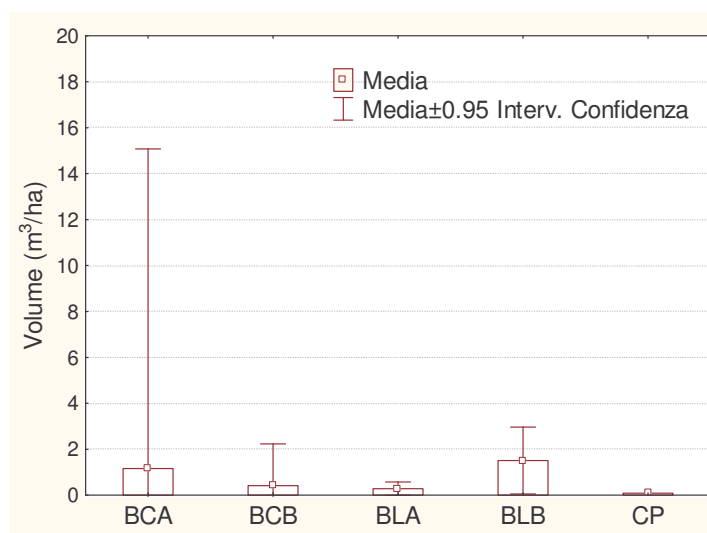


Figura 4.102 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Praloran.

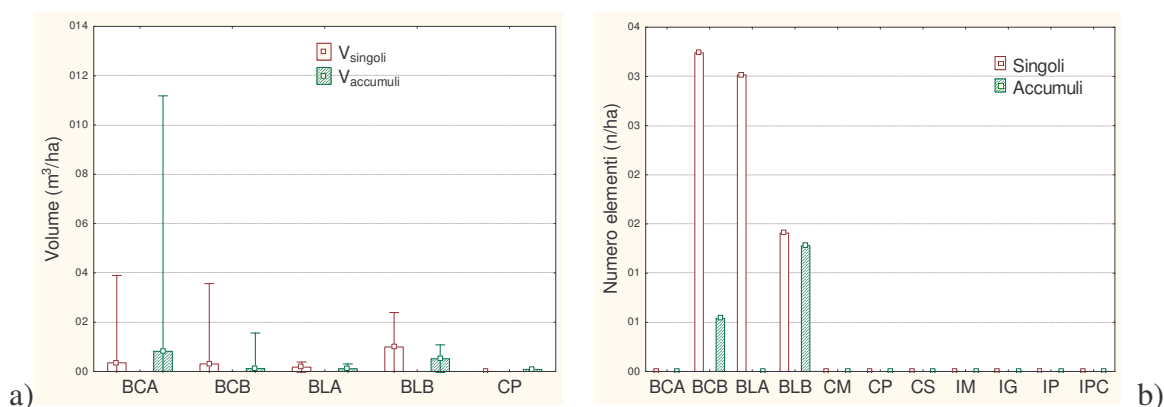


Figura 4.103 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Praloran.

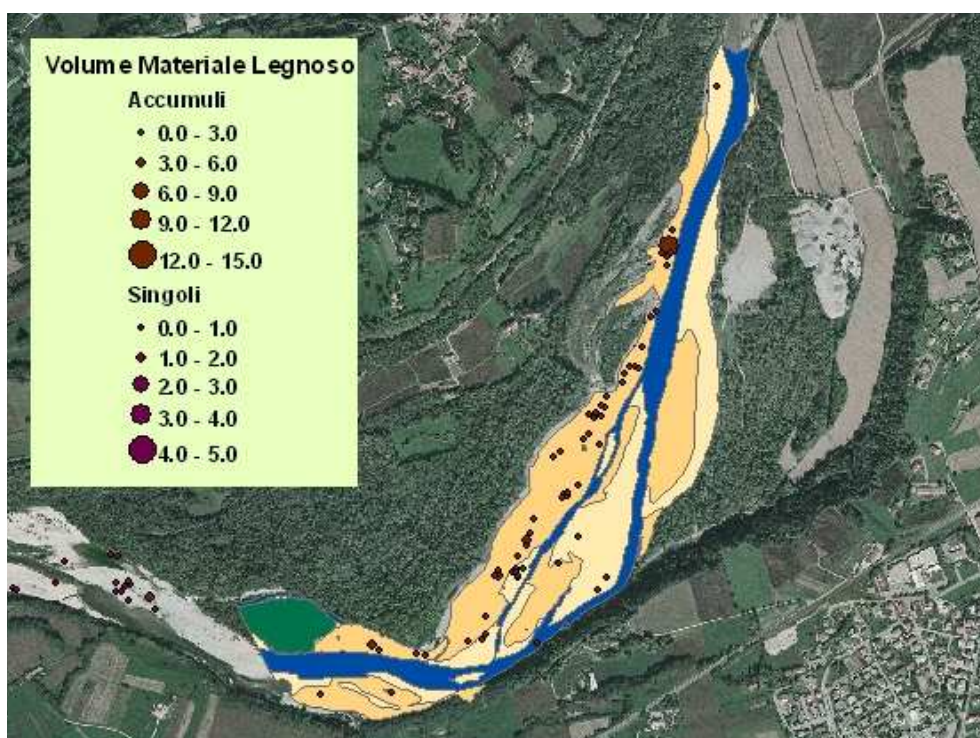


Figura 4.104 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Praloran.

4.6.2.4. Cesa

Il tratto di Cesa è caratterizzato da una morfologia di passaggio da *wandering* a barre alternate. La distribuzione delle unità morfologiche è rappresentata in figura 4.105. Il tratto è caratterizzato da una sponda boscata che ricopre circa il 63 % della sponda, mentre non sono presenti difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area erosa calcolata rispetto all'evento di piena del 2002 pari a 0.006 ha a cui corrisponde, dunque, una quantità di materiale legnoso in input pari a 0.93 m³ sempre considerando 150 m³/ha.

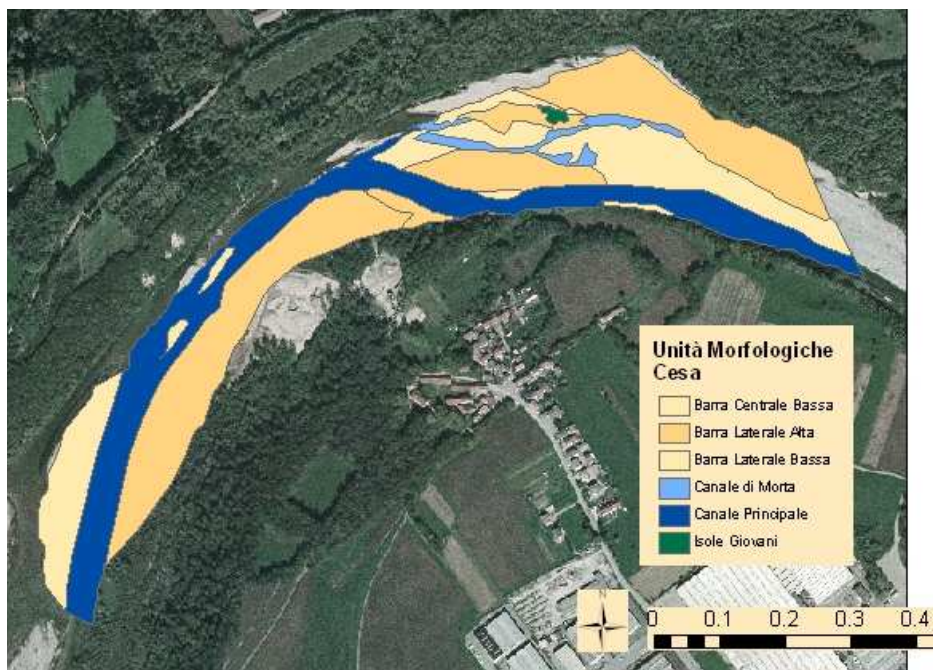


Figura 4.105 Unità morfologiche all'interno del tratto di Cesa.

Benché il numero delle barre centrali sia alto l'area da esso occupata non è molto grande proprio per la conformazione caratteristica delle barre alternate (fig. 4.106a). E' presente solo un isola giovane di area pari a (0.07 ha).

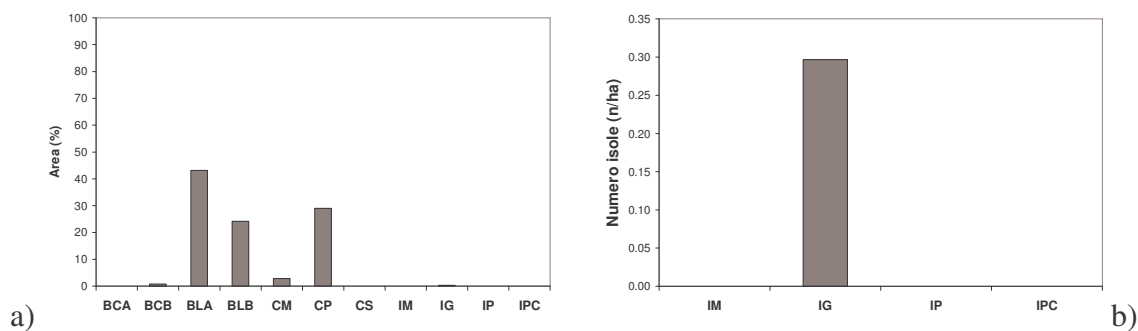


Figura 4.106 Distribuzione delle unità morfologiche all'interno del tratto di Cesa.

Il volume di materiale legnoso è distribuito solo sulle barre laterali e nel canale (fig. 4.107) e la zona è quella caratterizzata da il minor volume e numero di elementi di tutto il tratto studiato ($0.5 \text{ m}^3/\text{ha}$). Il volume degli accumuli prevale sui singoli eccetto all'interno del canale dove, però, si riscontra una minor numerosità (fig. 4.108). Il tratto di Cesa è quello caratterizzato dal minor volume e numero di elementi legnosi tra cui sono presenti principalmente elementi singoli.

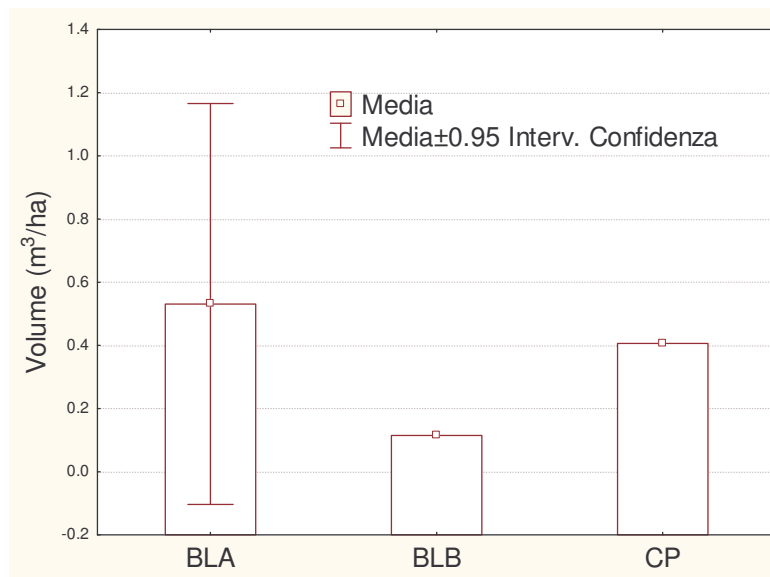


Figura 4.107 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Cesa.

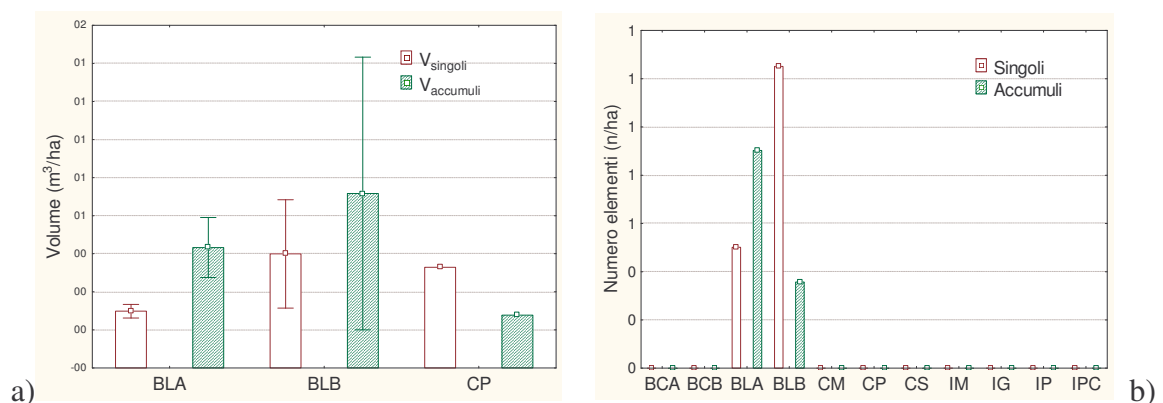


Figura 4.108 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Cesa.

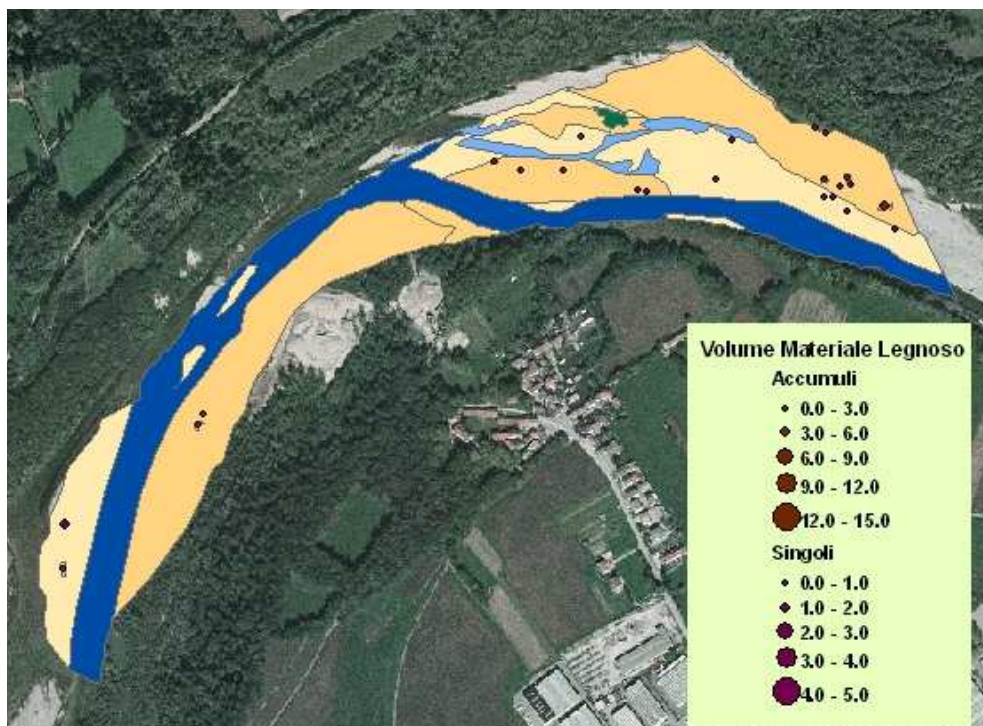


Figura 4.109 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Cesa.

4.6.2.5. Longano

Il tratto di Longano ha una morfologia a canali intrecciati dell'ordine tra 2 e 3 canali attivi come si evince dal grafico in figura 4.110. Il tratto presenta una sponda boscata che ricopre circa l' 32 % della sponda, mentre non sono presenti difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area erosa calcolata rispetto all'evento di piena del 2002 pari a 0.016 ha e tale per cui il materiale legnoso in input è pari a 2.46 m³(volume per ettaro di materiale legnoso per area boscata pari a 150 m³/ha).

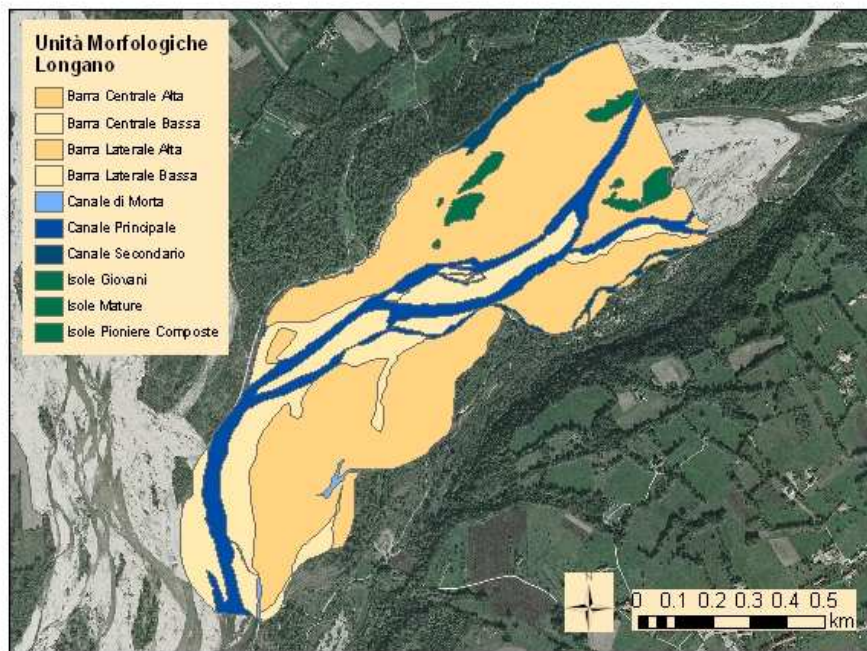


Figura 4.110 Unità morfologiche all'interno del tratto di Longano.

Il tratto presenta un'area distribuita principalmente sulle barre laterali alte mentre le altre aree occupano una percentuale di area totale inferiore ma tra loro comparabile. E' presente un'area discreta che è occupata dai canali secondari e tra le isole la maggior parte dell'area è occupata dalle isole mature e giovani (fig. 4.111a). Nonostante la distribuzione percentuale delle aree delle isole si evince dalla figura 4.111b che sono presenti comunque molte, anche se piccole, isole pioniere composte. Il tratto termina proprio in corrispondenza della confluenza con il Torrente Cordevole.

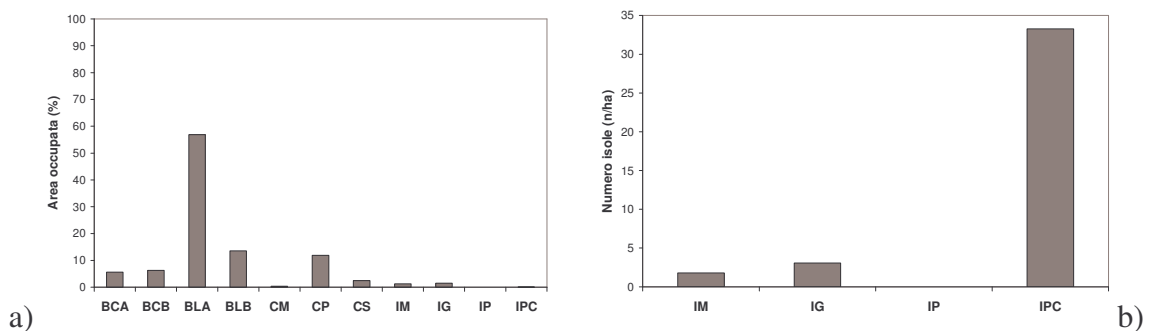


Figura 4.111 Distribuzione dell'area percentuale delle unità morfologiche a) e distribuzione del numero di isole b) all'interno del tratto di Longano.

Il volume di materiale legnoso è distribuito soprattutto tra le barre laterali alte e tra le mentre è scarsa la quantità tra le barre centrali di cui quelle basse sono le uniche presenti. Un volume piuttosto alto è presente nelle isole giovani (fig. 4.112). Tra i singoli e gli accumuli prevalgono quasi sempre questi ultimi eccetto in corrispondenza delle isole giovani dove vi è una grossa quantità di elementi singoli (fig. 4.113a). Nel canale principale sono presenti quasi esclusivamente elementi singoli (fig. 4.113b). La maggior parte del materiale legnoso è concentrata nella parte più a monte del tratto (fig. 4.114).

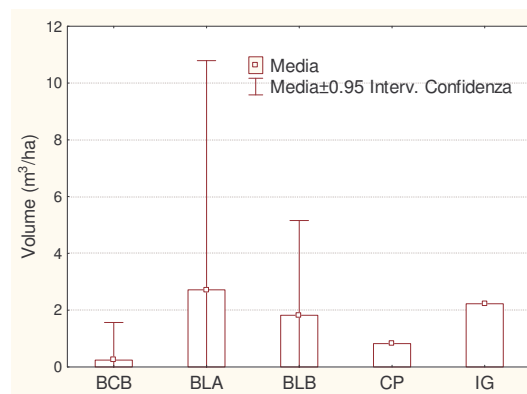


Figura 4.112 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Longano.

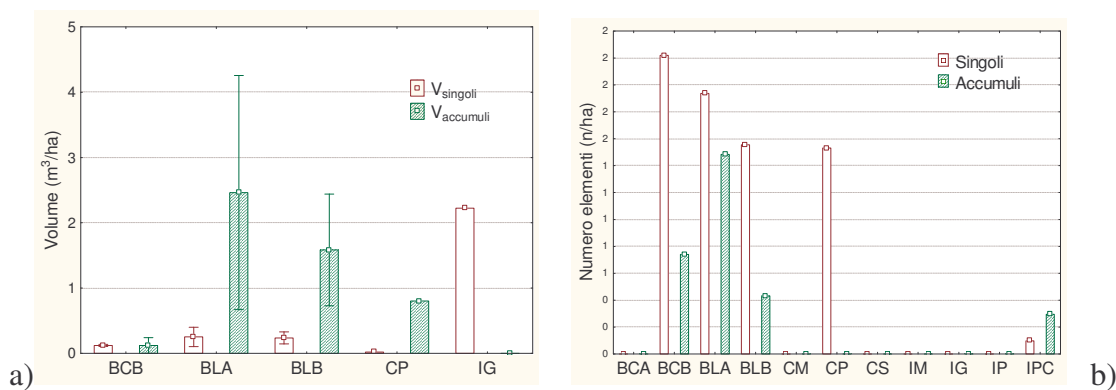


Figura 4.113 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di Longano.

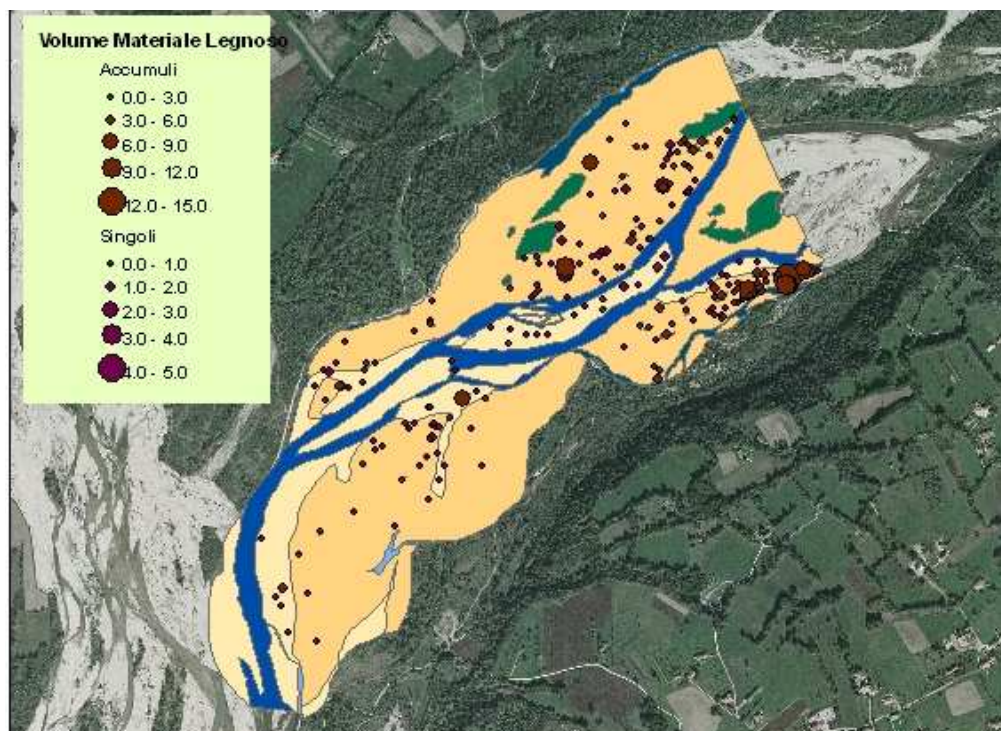


Figura 4.114 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Longano.

4.6.2.6. Nave

Il tratto di Nave è anch'esso a canali intrecciati con un numero medio di 2 – 3 canali attivi. La distribuzione delle unità morfologiche è rappresentata in figura 4.115. All'interno del tratto è presente una sponda boscata che ricopre circa l' 80% della sponda, mentre un 8% è costituito da difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area erosa calcolata rispetto all'evento di piena del 2002 pari a 0.017 ha e input di materiale legnoso dovuto ad erosione di area boscata pari a 2.6 m³(150 m³/ha volume medio di materiale legnoso per area boscata).

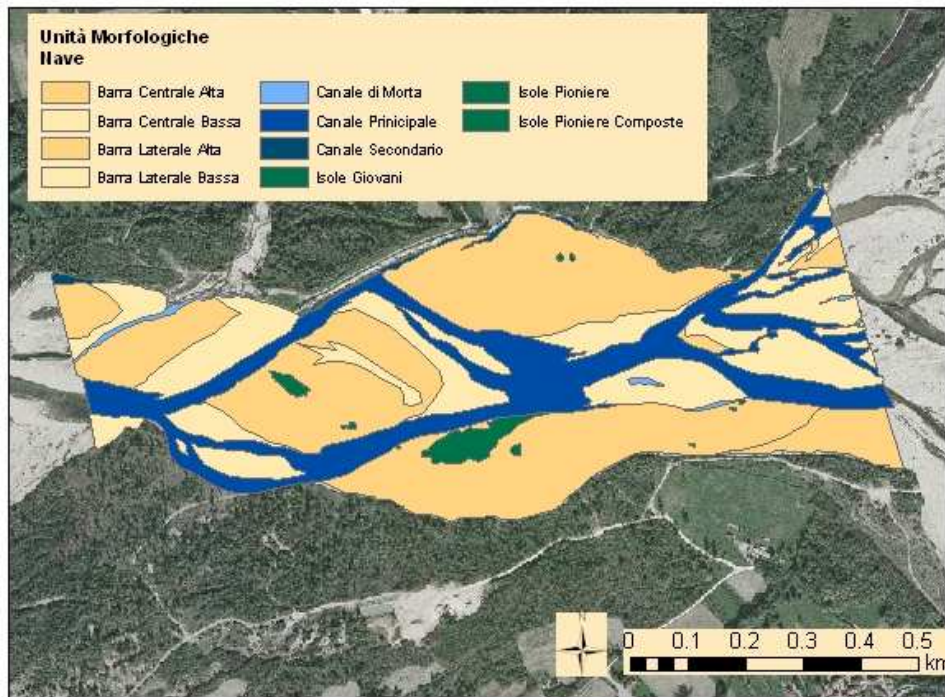


Figura 4.115 Unità morfologiche all'interno del tratto di Nave

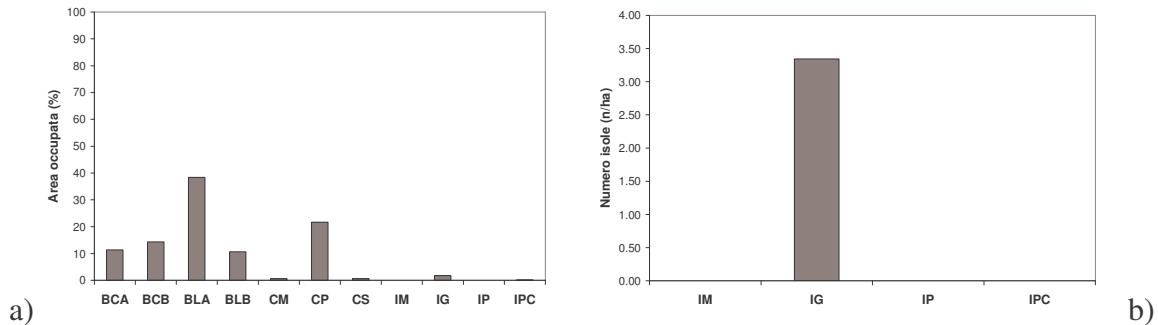


Figura 4.116 Distribuzione dell'area percentuale delle unità morfologiche a) e distribuzione del numero di isole all'interno del tratto di Nave.

All'interno il materiale legnoso non è molto ed è fortemente concentrato all'interno dei canali di morta o distribuito in maniera non troppo omogenea tra le barre (4.117). Dalla figura 4.118 si evince che la maggior parte del volume nei canali di morta è rappresentato dagli accumuli sia in volume che in numero, mentre singoli e accumuli si distribuiscono in maniera piuttosto omogenea tra le barre. Il materiale legnoso tende, inoltre, a concentrarsi nelle barre centrali (fig. 4.119).

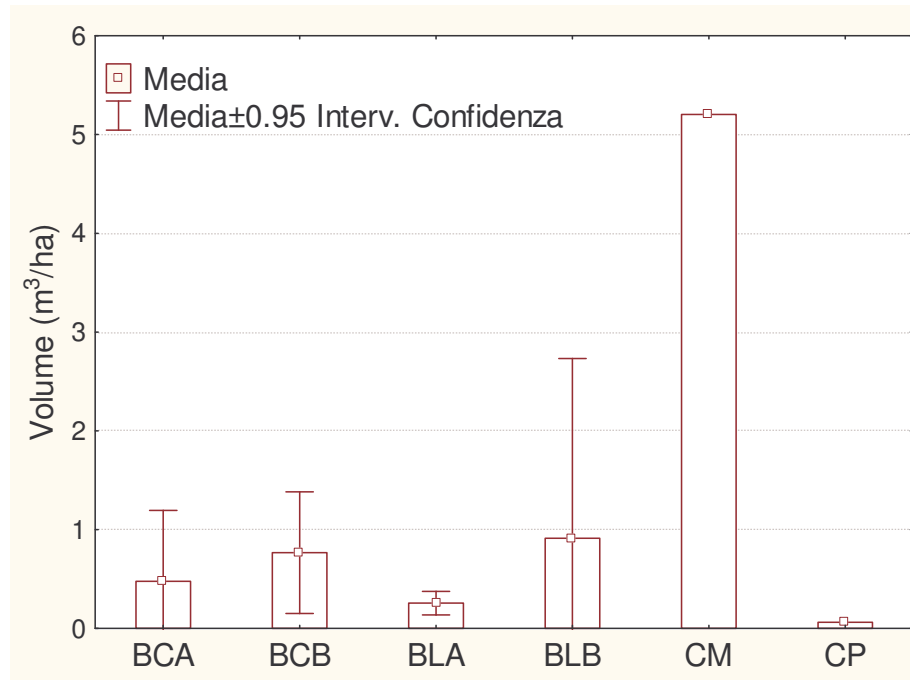


Figura 4.117 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Nave.

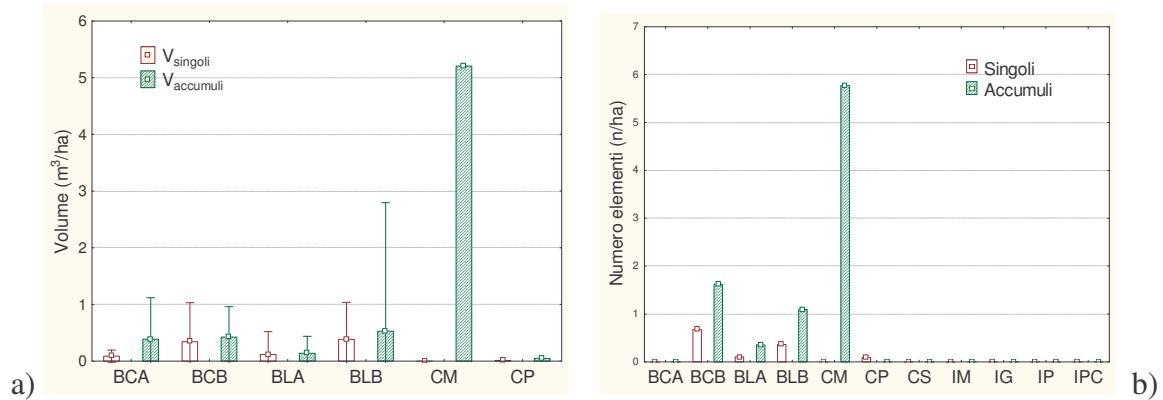


Figura 4.118 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di

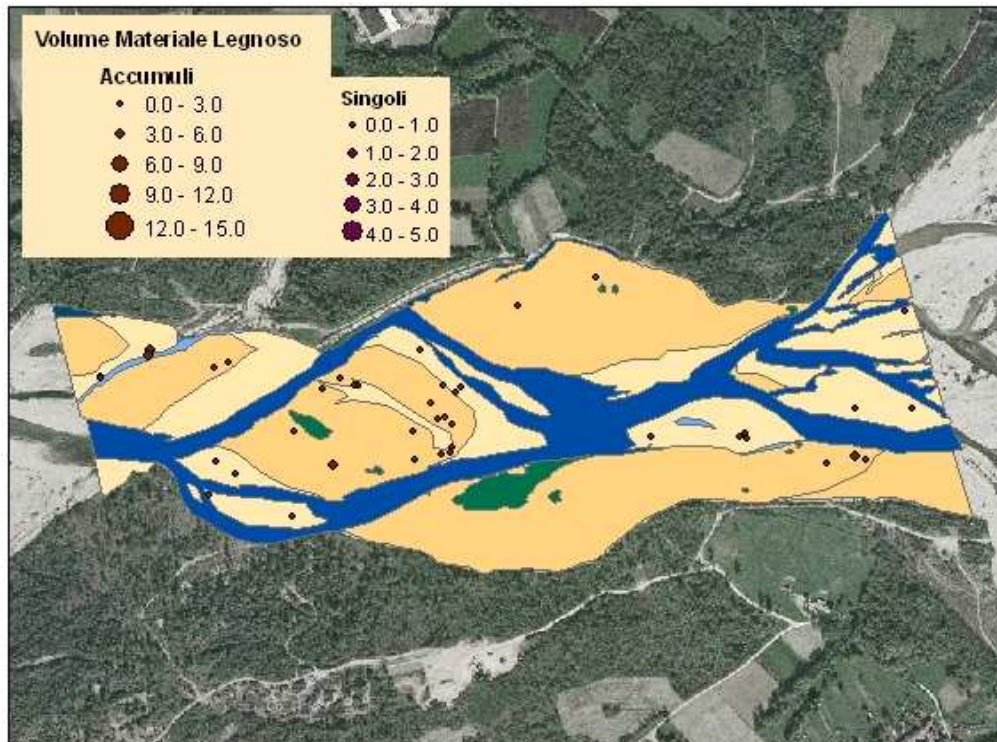


Figura 4.119 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Nave.

4.6.2.7. Lentiai

L'ultimo tratto è anch'esso a canali intrecciati ma presenta un numero maggiore, 3, di canali attivi mediamente. La distribuzione delle unità morfologiche è rappresentata in figura 4.120. All'interno del tratto è presente una linea boscata che ricopre circa l' 42 % della sponda, mentre un 12 % è costituito da difese spondali. Il tratto è caratterizzato da un'area erosa calcolata rispetto all'evento di piena del 2000 pari a 0.026 ha corrispondente ad un volume di materiale legnoso dovuto all'area boscata erosa pari a 3.9 m³ (150 m³/ha volume medio di materiale legnoso per area boscata).

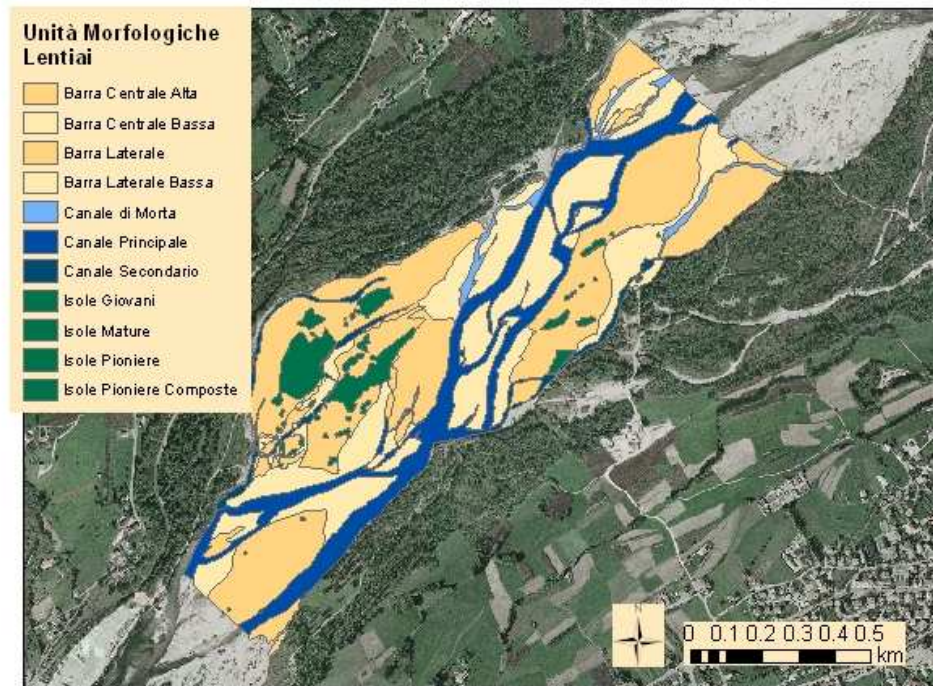


Figura 4.120 Unità morfologiche all'interno del tratto di Lentiai.

Lentiai è caratterizzato da un'area prevalentemente occupata da barre laterali, soprattutto alte, e anche il canale ricopre un'area piuttosto grande (14.63 ha) (fig. 4.121a). Nel tratto si riscontrano diverse tipologie di isole tra cui le isole mature ricoprono un'area maggiore rispetto alle altre e sono presenti maggiormente anche in termini numerici per ettaro (fig. 4.121b).

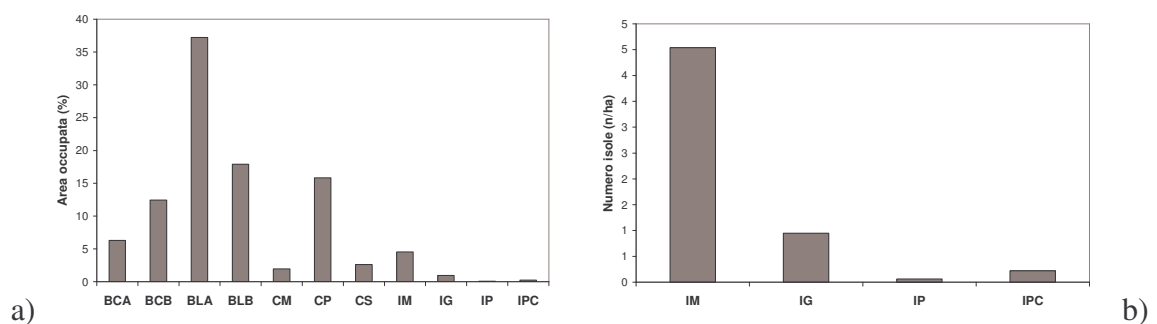


Figura 4.121 Distribuzione delle unità morfologiche all'interno del tratto di Lentiai.

Il volume di materiale legnoso è distribuito prevalentemente tra le barre laterali basse e i canali di morta (fig. 4.122). Un numero molto alto per ettaro è presente all'interno delle isole giovani ma di un volume talmente basso che non è confrontabile rispetto al volume presente nelle altre unità morfologiche (fig. 4.123). Il materiale è distribuito in maniera piuttosto omogenea (fig. 4.124). Nel tratto dove sono presenti le isole più grosse non è segnalata una grande quantità di materiale, tuttavia, come più volte accennato, la misurazione tramite foto non permette di visualizzare gli elementi all'interno delle isole dove queste presentano una folta vegetazione omogeneamente distribuita.

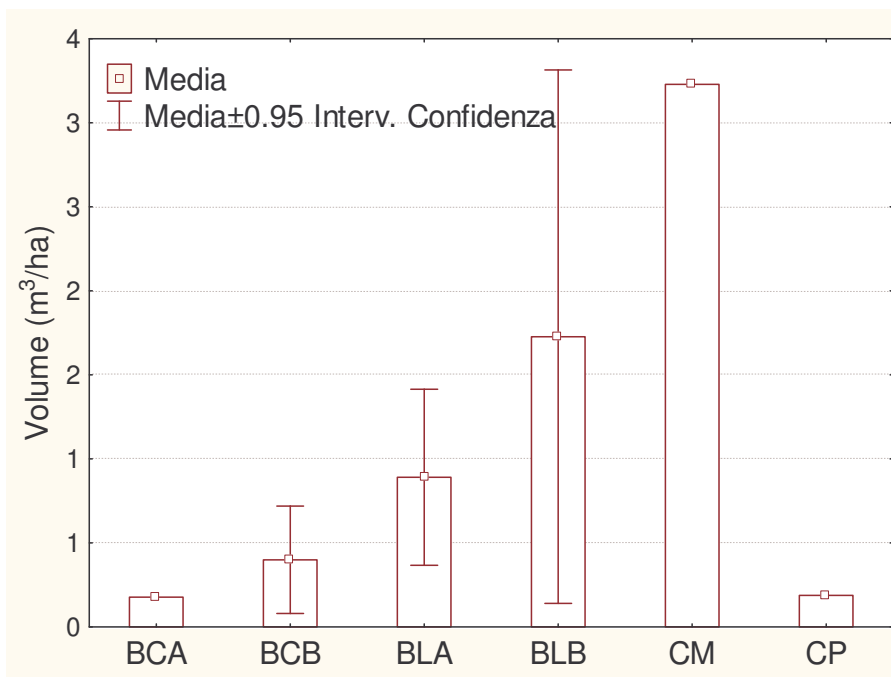


Figura 4.122 Distribuzione del volume di materiale legnoso tra le unità morfologiche all'interno del tratto di Lentiai.

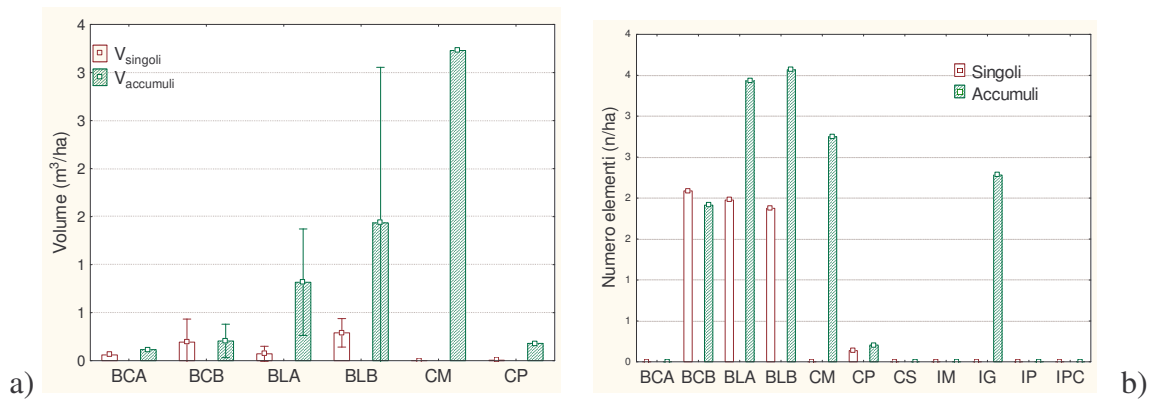


Figura 4.123 Distribuzione volumetrica a) e numerica b) dei singoli e degli accumuli all'interno del tratto di

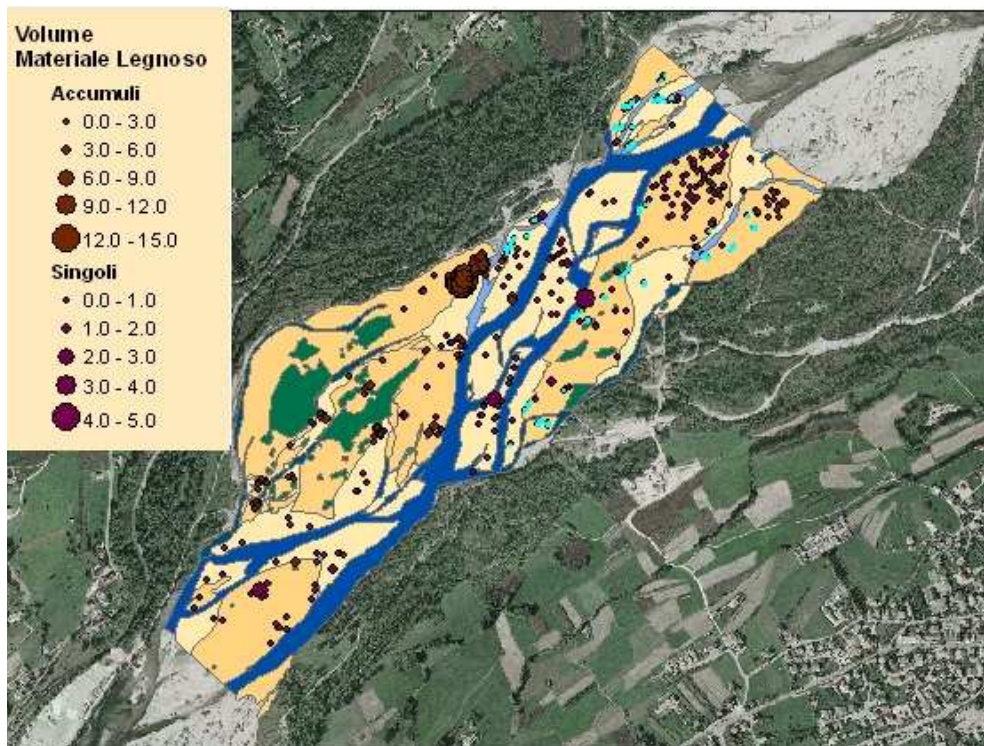


Figura 4.124 Distribuzione del volume legnoso nelle unità morfologiche del tratto di Lentiai.

4.6.3. Analisi statistica della distribuzione del materiale legnoso

La tabella 4.12 riporta una lista degli indici utilizzati all'interno dell'analisi statistica qui riportata.

Tabella 4.12 Tabella dei codici utilizzati nell'analisi statistica

ABA	area barre alte
ABB	area barre basse
AC	area canali
AI	area isole
AIP	area isole pioniere
NBA	numero barre alte
NBB	numero barre basse
NC	numero canali
NI	numero isole
NIP	numero isole pioniere
Aacc	area accessibile
L	lunghezza alveo
W	larghezza alveo
DirC	direzione canale rispetto al nord
Lbosc	lunghezza sponda boscata
Ldif	lunghezza difese spondali
Er	erosione
Vsingoli	volume singoli
Vaccumuli	volume accumuli
V_{TOT}	volume totale materiale legnoso V_{AC}
Vtronchi	Volume tronchi V_M
Nsingoli	numero singoli
Naccumuli	numero accumuli
Lm	lunghezza media dei tronchi
Lmax	lunghezza massima dei tronchi
Dm	diametro medio dei tronchi
Dmax	diametro massimo dei tronchi
Am	area media degli accumuli
Amax	area massima degli accumuli
Trad	percentuale di elementi con radici
AccVeg	percentuale di accumuli con vegetazione
Dir_Tr	direzione media dei tronchi rispetto al nord

4.6.3.1. Analisi multivariata

La presenza di diverse variabili potenzialmente tra loro correlate necessita di una prima analisi alle componenti principali (PCA) per avere una prima, se pur indicativa, valutazione dell'importanza tra le variabili considerate. Si considerano qui tutte le variabili sia di tipo morfologico e variabili relative al materiale legnoso. La possibile ridondanza di informazioni presenti può essere quindi individuata dall'analisi a componenti principali (PCA).

Il calcolo degli fattori principali porta ad una matrice degli autovalori (tab. 4.13) e una degli autovettori (tab. 4.14). In figura 4.125 è riportato lo *scree plot* della matrice degli autovalori in cui è sono evidenziate le variabili fattoriali caratterizzate da un valore piuttosto alto: il fattore 1, 50.99 %, il fattore 2, 26.58 % e il fattore 3, 15.11 %.

Dall'analisi delle correlazioni le variabili associate al fattore 1 sono principalmente l'area delle isole e i volumi del materiale legnoso associate ad un valore positivo, mentre l'area dei canali si contrappone con un valore negativo. Al secondo fattore contribuiscono principalmente le dimensioni del materiale legnoso (lunghezza, diametro, area accumuli) tutti con fattore positivo. La distribuzione delle variabili rispetto ai primi due fattori principali risulta più intuitiva dal grafico in figura 4.126 dove viene riportata la proiezione delle variabili sul piano fattoriale. Un ultimo grafico (fig. 4.127) rappresenta la proiezione dei casi sul piano fattoriale.

Tabella 4.13 Matrice degli autovalori dell'analisi a componenti principali.

	Autovalore	Totale varianza %	Cumulo Autovalore	Cumulo %
1	6.12	50.99	6.12	50.99
2	3.19	26.58	9.31	77.57
3	1.81	15.11	11.12	92.68
4	0.52	4.30	11.64	96.98
5	0.30	2.50	11.94	99.48
6	0.06	0.52	12.00	100.00

Tabella 4.14 Matrice degli autovettori dell'analisi a componenti principali.

	Fatt. 1	Fatt. 2	Fatt. 3	Fatt. 4	Fatt. 5	Fatt. 6
ABA	-0.21	-0.19	-0.58	0.02	-0.05	0.11
ABB	0.11	-0.09	0.70	0.03	-0.08	-0.12
AC	0.37	0.18	0.13	-0.02	-0.17	-0.12
AI	-0.35	0.16	0.24	0.03	0.40	0.07
AIP	-0.31	0.25	0.09	-0.43	0.55	0.02
Vtronchi	-0.39	-0.03	0.00	0.33	0.05	-0.41
Vsingoli	-0.38	0.01	0.07	0.47	-0.16	-0.35
Vaccumuli	-0.37	-0.02	0.16	-0.27	-0.46	0.32
V_{TOT}	-0.38	-0.01	0.15	-0.16	-0.42	0.22
Lm	0.04	0.51	0.02	0.52	0.02	0.58
Dm	0.01	0.55	-0.10	0.05	-0.11	-0.14
Am	-0.02	0.52	-0.15	-0.34	-0.27	-0.40

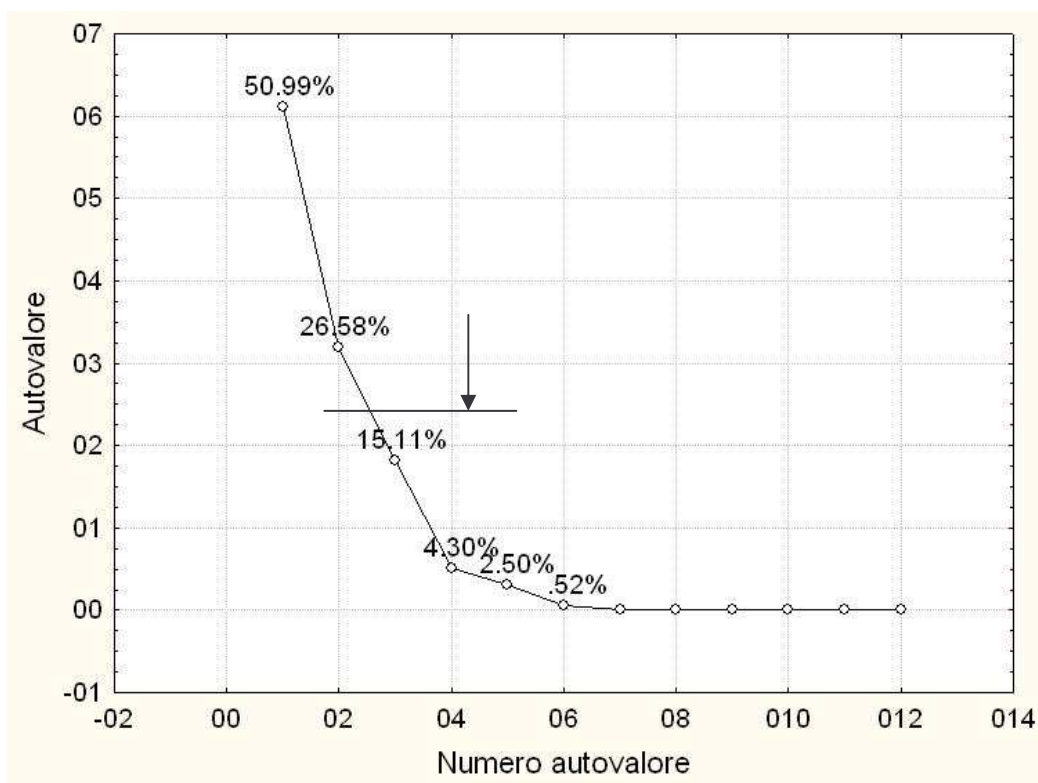


Figura 4.125 Scree-plot degli autovalori associati alla matrice di correlazione.

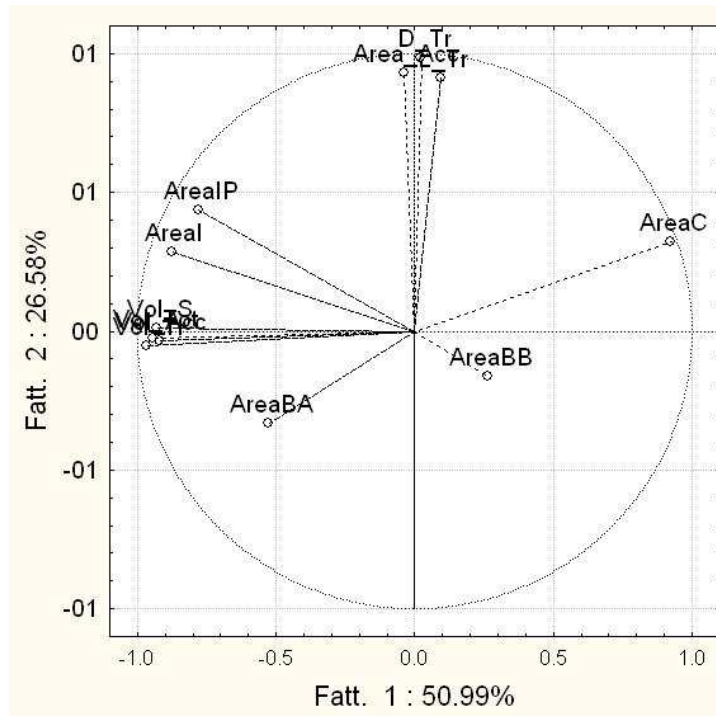


Figura 4.126 Proiezione delle variabili sul piano fattoriale.

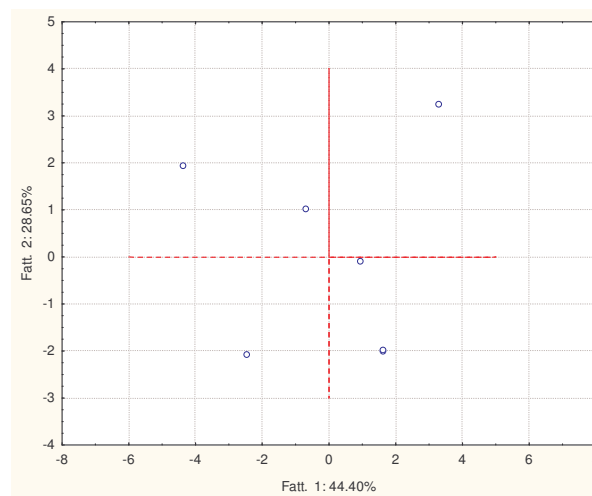


Figura 4.127 Proiezione dei casi sul piano fattoriale.

Altre analisi a componenti principali sono state eseguite aggiungendo ulteriori variabili, ma la tendenza generale non varia rispetto a quella qui presentata. I volumi dei materiali legnosi sembrerebbero essere associati alla presenza delle isole e nello specifico alle aree di queste, ma allo stesso fattore sembrano contribuire le aree dei canali e in minor misura alla larghezza dell'alveo nei tratti. La tipologia delle barre sembrerebbe non avere particolare influenza.

4.6.3.2. Analisi della varianza (ANOVA)

Una prima analisi della varianza è stata considerata al fine di interpretare l'eventuale influenza della tipologia di unità morfologica sul materiale legnoso presente in alveo. L'applicazione di un'analisi della varianza richiede la normalizzazione dei dati ma essendo il numero di questi molto alto (> 500) la distribuzione non perfettamente normale consente ugualmente di avere stime significative.

Una prima analisi effettuata è un'ANOVA a effetti principali per l'analisi della varianza della lunghezza, del diametro e del volume dei tronchi misurati. Da una prima analisi della varianza che considera come variabile dipendente la lunghezza dei tronchi e come variabili indipendenti le categorie "unità morfologiche" e "tratti" risulta una differenziazione molto significativa della lunghezza rispetto alle unità morfologiche ($p < 0.05$) eccetto che per i canali di morta e le isole giovani (tab. 4.15 e fig. 4.128).

Come si evince dal grafico in figura 4.128 la forte differenza di varianza corrispondente alle isole e ai canali di morta non rende realmente confrontabili i valori tra loro. Sono stati, dunque, tolti i canali e le isole per verificare l'eventuale significatività tra le altre unità morfologiche. Dal test di significatività (tab. 4.16) non risulta una significativa differenza ($p=0.1$), (fig. 4.129). I canali e le isole sicuramente differiscono dalle barre nella distribuzione di varianza, ma la caratterizzazione dei dati in merito a queste due unità risulta di più difficile previsione rispetto alle altre considerato il numero inferiore di tronchi misurati. L'analisi della varianza rispetto alla variabile "tratto" riporta un'alta significatività (tab. 4.15) che sta ad indicare una netta differenza tra questi (fig. 4.130).

Tabella 4.15 Test Univariati di Significatività per la lunghezza rispetto alle unità morfologiche e alle zone.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	5642.91	1	5642.911	400.8231	$p < 0.0001$
Unità morfologica	450.54	6	75.091	5.3338	0.000019
Tratto	1421.06	6	236.843	16.8233	$p < 0.0001$
Errore	16035.19	1139	14.078		

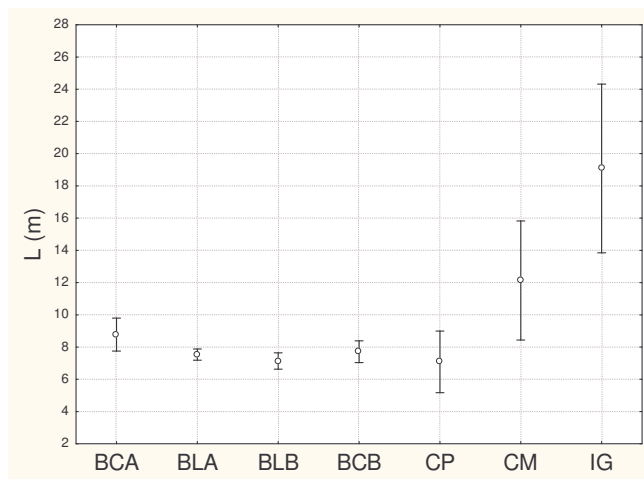


Figura 4.128 Distribuzione della lunghezza dei tronchi categorizzata per unità morfologiche.

Tabella 4.16 Test Univariati di Significatività per la lunghezza rispetto alle barre.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	30280.47	1.00	30280.47	2161.23	p<0.0001
Unità Morfologica	85.61	3.00	28.54	2.04	0.107007
Tratto	1375.41	6.00	229.23	16.36	p<0.0001
Errore	15706.09	1121.00	14.01		

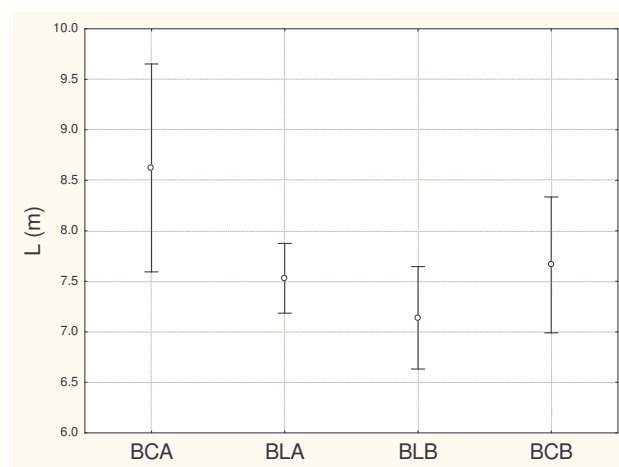


Figura 4.129 Distribuzione della lunghezza dei tronchi all'interno delle categorie.

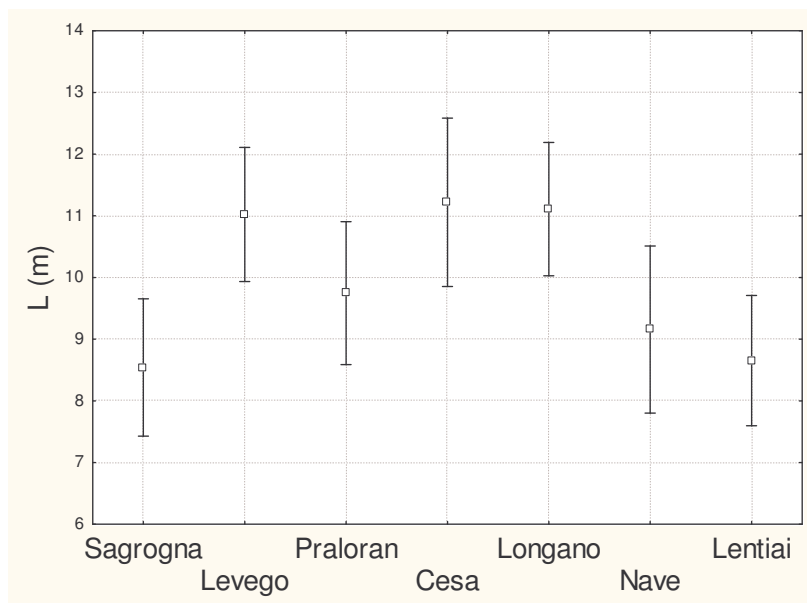


Figura 4.130 Distribuzione della lunghezza dei tronchi all'interno delle zone.

La stessa analisi è stata condotta per il diametro dei tronchi per il quale sembrerebbe risultare differenza significativa solo nel caso dei canali di morta (tab. 4.17 e fig. 4.131). Togliendo i canali di morta e le isole giovani caratterizzate da una varianza troppo alta per poter confrontare i valori si riscontra un'ipotesi non significativa (tab. 4.18) per cui effettivamente le barre e il canale principale risultano non significativamente diversi per la distribuzione del diametro dei tronchi (fig. 4.132). Rispetto alle zone risulta esserci un diverso comportamento da parte degli elementi situati nel tratto di Praloran (tab. 4.17 e fig. 4.133).

Tabella 4.17 Test Univariati di Significatività per il diametro rispetto alle unità morfologiche e alle zone.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	4.39	1.00	4.39	887.62	p<0.0001
Unità Morfologica	0.07	6.00	0.01	2.49	0.021477
Tratto	0.15	6.00	0.03	5.06	p<0.0001
Errore	5.63	1139.00	0.00		

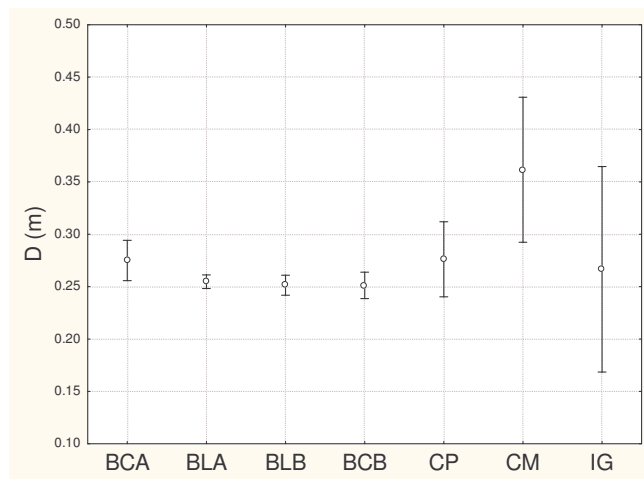


Figura 4.131 Distribuzione del diametro dei tronchi all'interno delle unità morfologiche.

Tabella 4.18 Test Univariati di Significatività per il diametro rispetto alle unità morfologiche esclusi i canali di morta.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	4.10	1.00	4.10	829.82	p<0.0001
Unità Morfologica	0.03	5.00	0.01	1.16	0.324541
Tratto	0.15	6.00	0.02	4.96	p<0.0001
Errore	5.61	1136.00	0.00		

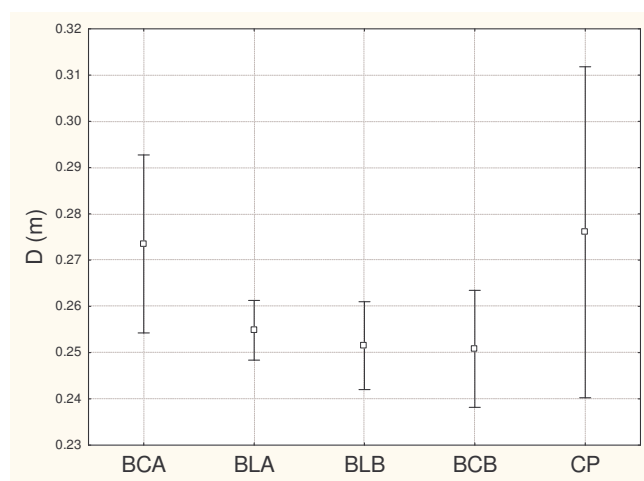


Figura 4.132 Distribuzione del diametro dei tronchi all'interno delle unità morfologiche, casi esclusi.

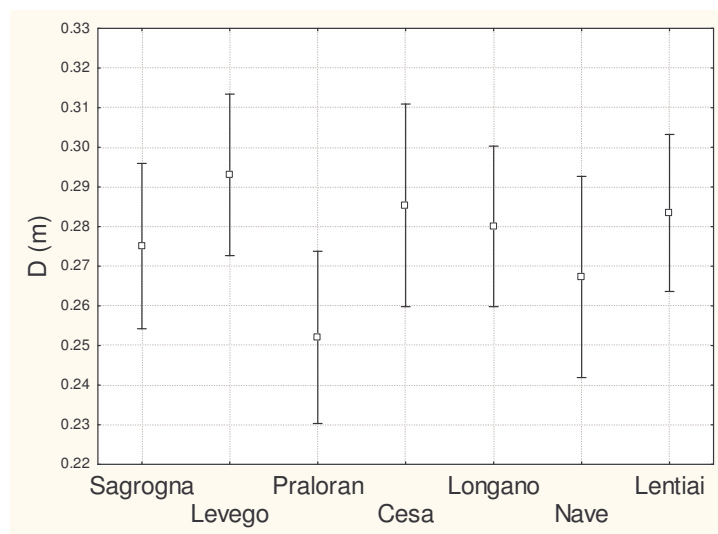


Figura 4.133 Distribuzione del diametro dei tronchi all'interno delle zone.

Nel caso del volume dei tronchi risulta un andamento della distribuzione della varianza pari a quello delle lunghezze sia per le unità morfologiche (fig. 4.134) che rispetto alle zone (fig. 4.136) come si evince anche dalla tabella 4.19. Eliminando i canali e le isole risulta sempre una non significatività ($p=0.22$) tra le barre (tab. 4.20 e fig. 4.134). La differenza tra i tratti risulta significativa (tab. 4.19 e fig. 4.104).

Tabella 4.19 Test Univariati di Significatività per il volume dei tronchi rispetto alle unità morfologiche e alle zone.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	33.52	1.00	33.52	178.04	$p<0.0001$
Unità Morfologica	7.29	6.00	1.22	6.46	$p<0.0001$
Tratto	7.73	6.00	1.29	6.84	$p<0.0001$
Errore	214.42	1139.00	0.19		

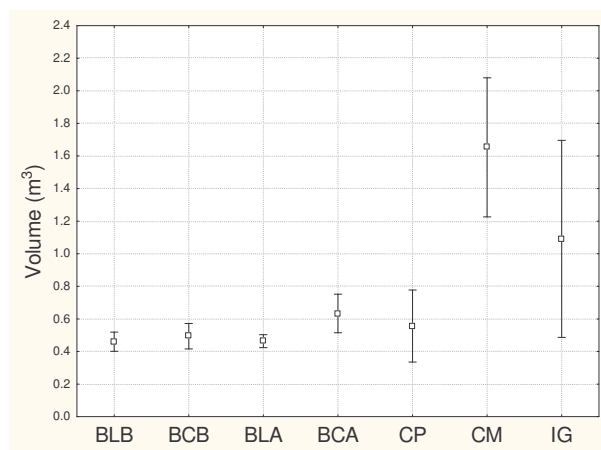


Figura 4.134 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche.

Tabella 4.20 Test Univariati di Significatività per il volume dei tronchi rispetto alle unità morfologiche e alle zone esclusi canali e isole.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	126.33	1.00	126.33	709.89	p<0.0001
Unità Morfologica	0.78	3.00	0.26	1.46	0.222900
Tratto	6.42	6.00	1.07	6.01	p<0.0001
Errore	199.50	1121.00	0.18		

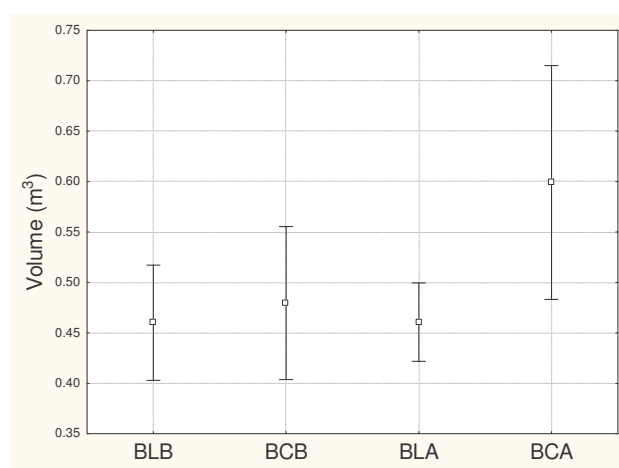


Figura 4.135 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche esclusi canali e isole.

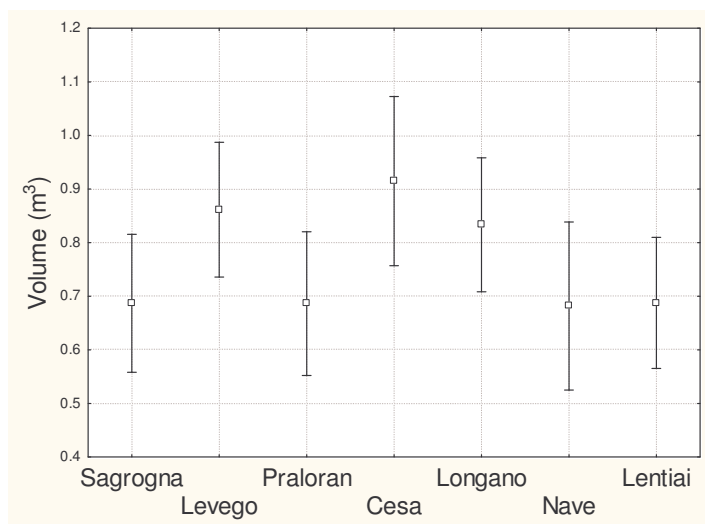


Figura 4.136 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle zone.

Un'ultima ANOVA a effetti principali è stata effettuata per analizzare il volume degli accumuli. Nel caso delle unità morfologiche (tab. 4.21 e fig. 4.137) sembrerebbe esserci una differenza significativa ($p = 0.03$) che però è dovuta alla forte varianza delle isole e dei canali. Escludendo canali e isole si ottiene questa volta una significatività elevata ($p < 0.05$) per cui il volume degli accumuli sembrerebbe effettivamente distribuirsi diversamente in base ai diversi tipi di barra (tab. 4.22 e fig. 4.138).

Tabella 4.21 Test Univariati di Significatività per il volume degli accumuli rispetto alle unità morfologiche e alle zone.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	216.97	1.00	216.97	39.87	$p < 0.0001$
Unità Morfologica	98.37	9.00	10.93	2.01	0.035891
Tratto	196.35	6.00	32.72	6.01	$p < 0.0001$
Errore	3847.27	707.00	5.44		

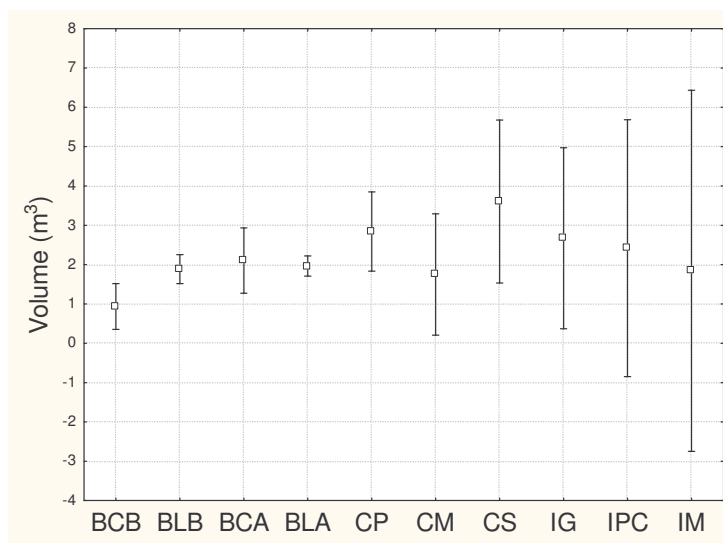


Figura 4.137 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche.

Tabella 4.22 Test Univariati di Significatività per il volume dei tronchi rispetto alle unità morfologiche e alle zone esclusi canali e isole.

	SS	Gradi di Libertà	MS	F	p
Intercetta	772.28	1.00	772.28	145.33	p<0.0001
Unità Morfologica	61.91	3.00	20.64	3.88	0.009054
Tratto	182.12	6.00	30.35	5.71	p<0.0001
Errore	3565.74	671.00	5.31		

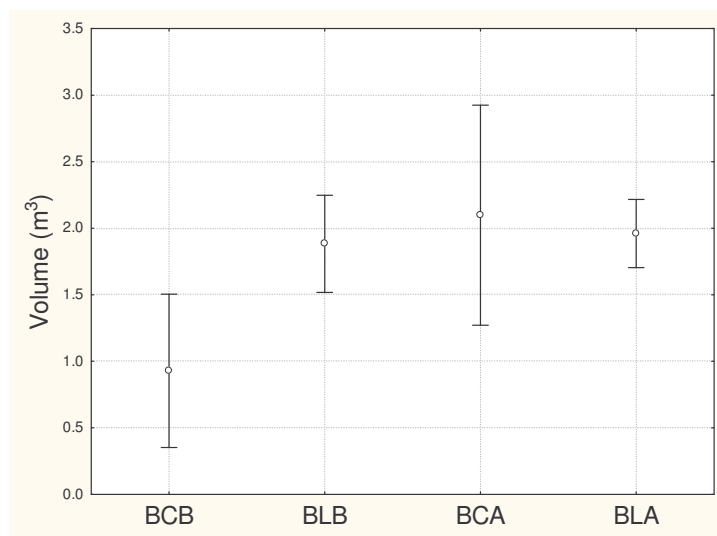


Figura 4.138 Distribuzione del volume dei tronchi all'interno delle unità morfologiche esclusi canali e isole.

Nei tratti di Levego e Longano gli accumuli mostrano dimensioni maggiori rispetto agli altri tratti (fig 4.139) e tale differenza risulta significativa ($p << 0.05$).

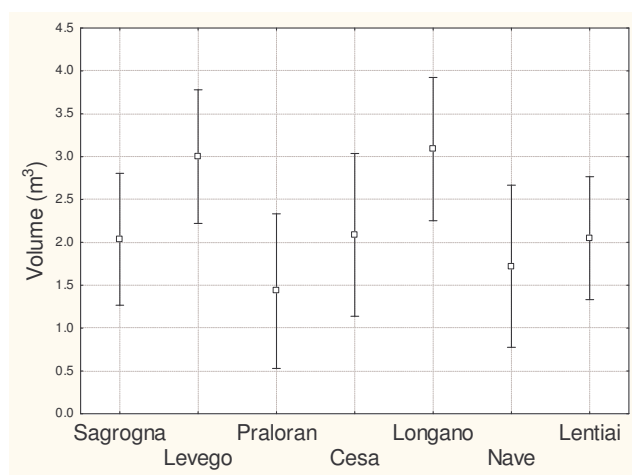


Figura 4.139 Distribuzione del volume degli accumuli all'interno delle zone.

4.6.3.3. Analisi di correlazione

La matrice di correlazione relativa ai valori caratteristici dei sette tratti è stata studiata per vedere tra quali variabili morfologiche e relative al materiale legnoso sussiste una relazione caratterizzata da un significativo coefficiente di correlazione ($p < 0.05$). Tra le variabili relative alle caratteristiche morfologiche si è preferito utilizzare quelle accorpate per categorie (ovvero barre alte, barre basse, canali, isole e isole pioniere) al fine di diminuire il numero di variabili considerato, soprattutto tenendo conto dell'analisi della varianza (paragrafo 4.6.3.2). Dato che le distribuzioni delle variabili non presentavano un andamento normale, si è deciso di effettuare una trasformazione logaritmica dei dati ($\log(X+1)$) e calcolare comunque poi le correlazioni con metodo non parametrico dato il numero esiguo di casi.

La matrice di correlazione di Spearman applicata al caso in esame riporta una forte correlazione negativa tra il volume del materiale legnoso e l'area relativa dei canali ($R = 0.93$). In realtà la relazione cambia in base a come è calcolato il volume legnoso. Se calcolato come V_M è caratterizzato da una forte correlazione solamente con l'area del canale; se calcolato come V_{AC} questa correlazione, pur rimanendo significativa ($R = 0.89$), è meno importante di quella che lega il volume con l'area delle isole (isole giovani e isole mature) ($R = 0.96$); il V_{AC} è correlato anche all'area delle isole pioniere (isole pioniere e isole pioniere composte) con un coefficiente pari a quello relativo all'area dei canali (tabella 4.23). Questa relazione con le Isole (sia categoria Isole che Isole Pioniere) è dovuta al volume degli accumuli (tab. 4.23) dato che i singoli non presentano correlazione significativa con l'area del canale. Il volume V_M è inoltre caratterizzato da una forte correlazione positiva con il numero di barre alte ($R = 0.86$), come ugualmente il volume dei singoli a differenza del volume degli accumuli e del volume totale V_{AC} . Il V_M è inoltre correlato positivamente all'area erosa nel tratto ($R = 0.87$).

Il volume degli accumuli è positivamente correlato in modo significativo solamente con l'area e il numero delle isole e negativamente con l'area dei canali. Il volume V_M , che è costituito solo da singoli riscontra correlazione solamente con l'area del canale e negativa e dunque non sembrerebbe risentire dell'area delle barre circostanti (tab. 4.23). Di questi aspetti verrà discusso nel prossimo capitolo anche in relazione all'analisi di regressione

multipla successivamente considerata. Il numero degli accumuli è fortemente correlato positivamente all'area delle isole ($R = 0.96$) e negativamente all'area del canale mentre il numero di singoli è fortemente correlato negativamente all'area del canale e al numero di barre alte (tab. 4.24).

Tabella 4.23 Matrice di correlazione di Spearman tra volumi di materiale legnoso e caratteristiche morfologiche. I valori in grassetto sono significativi al livello $p < 0.05$.

	Vsingoli	Vaccumuli	V _{TOT}
ABA	0.64	0.39	0.39
ABB	-0.29	0.07	0.07
AC	-0.89	-0.86	-0.86
AI	0.71	0.96	0.96
AIP	0.46	0.86	0.86
NBA	-0.77	-0.52	-0.52
NBB	-0.75	-0.39	-0.39
NC	-0.64	-0.29	-0.29
NI	0.43	0.86	0.86
NIP	0.57	0.82	0.82
Aacc	0.05	0.04	0.04
L	0.25	0.32	0.32
W	0.46	0.71	0.71
DirC	-0.68	-0.32	-0.32
Lbosc	0.50	0.21	0.21
Ldif	-0.47	0.02	0.02
Er	0.87	0.58	0.58

Tabella 4.24 Correlazione tra numero di elementi legnosi e caratteristiche morfologiche.

	Nsingoli	Naccumuli
ABA	0.43	0.18
ABB	0.14	0.54
AC	-0.46	-0.57
AI	0.39	0.89
AIP	0.04	0.79
NBA	-0.34	-0.22
NBB	-0.86	-0.36
NC	-0.96	-0.32
NI	-0.11	0.75
NIP	0.14	0.75
Aacc	0.22	0.14
L	0.36	0.21
W	0.14	0.54
DirC	-1.00	-0.43
Lbosc	0.39	0.25
Ldif	-0.47	0.26
Er	0.43	0.29

Le dimensioni medie dei tronchi (lunghezza e diametro) e l'area media degli accumuli sono caratterizzati da una correlazione negativa significativa con l'area accessibile di ogni tratto (tab. 4.25), che porterebbe a pensare che maggiore è l'area accessibile, minore è la dimensione media riscontrabile per via del taglio dei tronchi. Tuttavia, il volume legnoso totale non risulta correlato significativamente all'area accessibile.

La percentuale di elementi caratterizzati da radici (tab. 4.26) risulta essere correlata negativamente all'area dei canali e positivamente all'area e al numero delle isole (sia isole che isole pioniere). Il numero di accumuli caratterizzati da vegetazione è anch'esso correlato negativamente all'area dei canali, mentre positivamente all'area e al numero di isole. Il numero di accumuli caratterizzati da vegetazione tendono ad aumentare anche con l'aumentare della larghezza media dell'alveo (tab. 4.26).

Tabella 4.25 Correlazione tra valori medi e massimi delle caratteristiche geometriche del materiale legnoso e caratteristiche morfologiche.

	Lm	Lmax	Dm	Dmax	Am	Amax
ABA	-0.45	0.00	-0.36	0.58	-0.32	0.04
ABB	-0.31	0.74	-0.41	0.13	-0.47	0.13
AC	0.04	0.00	0.00	-0.36	0.00	-0.27
AI	0.02	0.25	-0.04	0.11	0.00	0.22
AIP	-0.15	0.07	-0.22	-0.07	0.00	0.09
NBA	0.18	0.26	0.12	-0.12	-0.08	0.31
NBB	0.18	-0.40	0.11	-0.72	0.32	-0.22
NC	-0.02	-0.58	-0.07	-0.54	0.32	-0.09
NI	-0.20	-0.04	-0.25	0.22	0.00	0.53
NIP	-0.24	0.04	-0.29	-0.04	0.00	-0.09
Aacc	-0.84	0.38	-0.78	0.89	-0.80	0.40
L	0.65	0.27	0.63	-0.20	0.16	0.18
W	-0.27	0.14	-0.25	0.61	-0.32	0.76
DirC	0.07	-0.61	0.04	-0.50	0.32	0.04
Lbosc	0.05	-0.07	0.04	-0.32	0.32	-0.76
Ldif	-0.73	0.20	-0.80	0.16	-0.52	0.17
Er	-0.15	-0.22	-0.07	0.36	0.09	0.00

Tabella 4.26 Correlazione caratteristiche del materiale legnoso e caratteristiche morfologiche.

	Trad	AccVeg	Dir_Tr
ABA	0.39	0.32	-0.29
ABB	0.07	0.11	-0.57
AC	-0.86	-0.79	0.43
AI	0.96	0.86	-0.68
AIP	0.86	0.71	-0.50
NBA	-0.52	-0.29	0.29
NBB	-0.39	-0.39	0.57
NC	-0.29	-0.29	0.64
NI	0.86	0.86	-0.29
NIP	0.82	0.61	-0.57
Aacc	0.04	0.16	-0.23
L	0.32	0.39	-0.18
W	0.71	0.86	-0.21
DirC	-0.32	-0.25	0.79
Lbosc	0.21	-0.14	-0.50
Ldif	0.02	0.06	-0.08
Er	0.58	0.43	-0.29

4.6.3.4. Regressione multipla per la creazione di un modello predittivo

Lo studio di previsione di modelli ha interessato come variabili il volume e il numero di elementi singoli, di accumuli e di materiale legnoso totale V_{AC} che d'ora in avanti verrà definito come V_{TOT} , e le caratteristiche delle unità morfologiche.

Lo studio delle correlazioni tra variabili morfologiche e variabili relative al materiale legnoso in alveo ha evidenziato una correlazione alta e significativa tra i volumi di materiale legnoso e le aree dei canali (negativa) e delle isole (positiva). Nello specifico, il volume totale, V_{TOT} , risulta correlato all'area dei canali, delle isole e delle isole pioniere e lo stesso accade per il volume degli accumuli mentre il volume dei singoli risulta correlato in forma significativa con la sola area del canale. Al fine di verificare queste relazioni ed eventuali contributi di altre variabili è stata condotta un'analisi di regressione multipla per creare un modello predittivo della quantità di legname in alveo.

In prima istanza è stata condotta un'analisi delle correlazioni esistenti tra le variabili morfologiche considerate al fine di non utilizzare parametri tra loro intercorrelati dipendenti e che possono di conseguenza abbassare il livello di significatività dell'analisi di regressione. Dallo studio delle correlazioni di Spearman (tab. 4.27) si evidenzia una forte correlazione tra l'area delle isole e quella delle isole pioniere nonché tra l'area delle isole pioniere ed il numero di isole pioniere. Un'ulteriore correlazione elevata negativa è risultata tra l'area del canale e la larghezza media dell'alveo. L'individuazione di queste variabili potenzialmente tra loro dipendenti serve per evitare di rendere inefficace la regressione multipla. A tal fine sono state condotte le analisi prima comprendendo e poi eliminando queste variabili per confermare l'ipotesi di dipendenza.

L'analisi di regressione multipla è avvenuta tramite metodo "stepwise" ossia viene introdotta una nuova variabile ad ogni passo e si valuta come varia il coefficiente di determinazione e la significatività del modello. Come soglia di entrata di una variabile nel modello si è utilizzato il valore $F=1$. I modelli hanno come variabili indipendenti il volume e il numero di elementi singoli, di accumuli e di materiale legnoso totale e come variabili indipendenti le caratteristiche morfologiche.

Tabella 4.27 Matrice di correlazione di Spearman tra le variabili morfologiche studiate.

	ABA	ABB	AC	AI	AIP	NI	NIP	W	Lbos	Ldif
ABA	1.00	-0.50	-0.75	0.25	-0.31	0.25	-0.09	0.61	0.07	-0.08
ABB	-0.50	1.00	0.36	0.25	0.26	0.07	0.14	-0.21	0.14	0.51
AC	-0.75	0.36	1.00	-0.75	-0.31	-0.64	-0.37	-0.79	-0.14	0.26
AI	0.25	0.25	-0.75	1.00	0.83	0.75	0.77	0.54	0.36	0.02
AIP	-0.31	0.26	-0.31	0.83	1.00	0.77	0.94	0.09	0.49	0.21
NI	0.25	0.07	-0.64	0.75	0.77	1.00	0.66	0.75	-0.04	0.33
NIP	-0.09	0.14	-0.37	0.77	0.94	0.66	1.00	-0.03	0.71	0.15
W	0.61	-0.21	-0.79	0.54	0.09	0.75	-0.03	1.00	-0.43	0.10
Lbos	0.07	0.14	-0.14	0.36	0.49	-0.04	0.71	-0.43	1.00	-0.16
Ldif	-0.08	0.51	0.26	0.02	0.21	0.33	0.15	0.10	-0.16	1.00

Nel primo modello inerente il volume totale di materiale legnoso presente in alveo, V_{TOT} , le variabili presentano solo un elemento molto significativo, l'area delle isole, AI, (tab. 4.28). Ripetendo l'analisi tra la semplice variabile V_{TOT} e l'AI ($R^2_{agg} = 0.69$; $F = 14.91$; $p = 0.0119$) si ottiene comunque una relazione significativa con l'area delle isole ($p = 0.0119$) ma l'intercetta non è significativa (eq. 4.2 e fig. 4.140).

Tabella 4.28 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume totale le variabili morfologiche.

	F	p
AI	14.91	0.0119
NI	2.20	0.2119
Ldif	2.04	0.2483

$$\log V_{TOT} = 0.340 + 0.559 \log A_I \quad \text{Eq. 4.2}$$

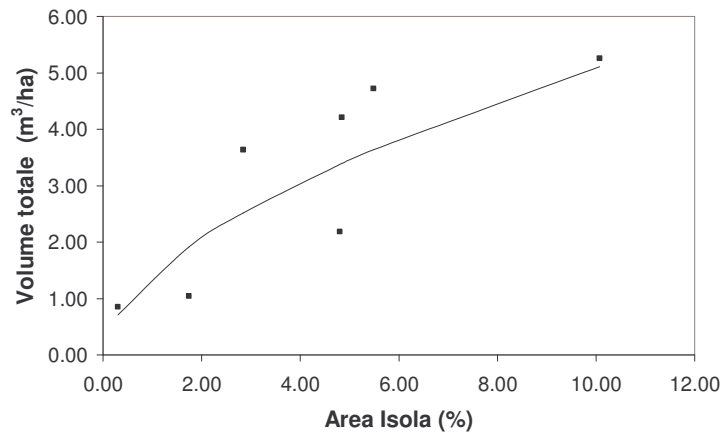


Figura 4.140 Relazione tra volume legnoso totale e area delle isole.

Analizzando la regressione multipla tra il numero di elementi legnosi totali nell'alveo, N_{TOT} , e le variabili morfologiche risulta un'unica relazione valida, tra N_{TOT} e l'area delle isole, AI ($R^2_{agg} = 0.72$; $F = 16.715$; $p = 0.0095$). L'intercetta risulta significativa ($p = 0.0468$) e l'espressione che lega le due variabili è data dalla relazione 4.3.

$$\log N_{TOT} = 0.414 + 0.426 \log A_I \quad \text{Eq. 4.3}$$

La regressione multipla applicata alla variabile dipendente volume singoli, V_{sing} , ha evidenziato una relazione stretta sempre con l'area delle isole e una relazione non significativa con la lunghezza delle difese di sponda. Anche in questo caso ripetendo l'analisi con la singola variabile indipendente si ottiene un modello di regressione lineare significativo ($R^2_{agg} = 0.65$; $F = 12.40$; $p = 0.0169$) con intercetta significativa ($p = 0.0018$); la relazione è espressa dall'equazione 4.4 e rappresentata in figura 4.141. Considerata la correlazione di Spearman (paragrafo 4.6.3.3) si è pensato di verificare la relazione tra il volume dei singoli e l'area del canale; la regressione multipla porta ad una significatività ($R^2_{agg} = 0.58$; $F = 9.252$; $p = 0.029$) tuttavia inferiore a quella dell'area delle isole, AI.

Tabella 4.29 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume degli elementi singoli e le variabili morfologiche.

	F	p
AI	12.40	0.0169
Ldif	3.38	0.1400

$$\log V_{SING} = -1.224 + 0.471 \log A_I \quad \text{Eq. 4.4}$$

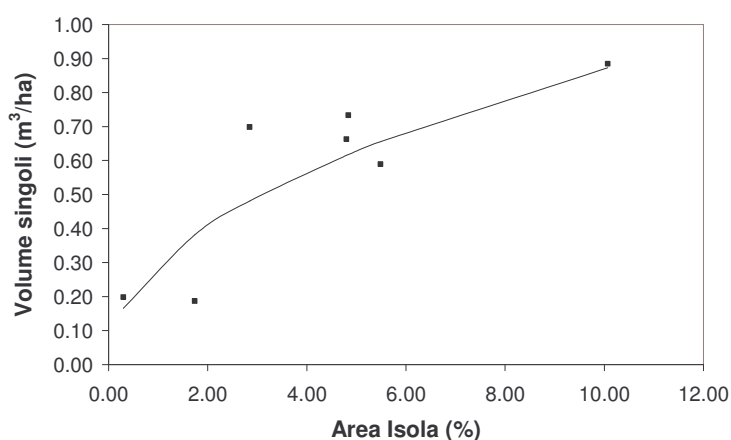


Figura 4.141 Relazione tra volume degli elementi singoli e area delle isole.

L'analisi di regressione multipla del numero di elementi singoli rispetto alle variabili morfologiche porta ad una relazione poco significativa ($R^2_{agg} = 0.49$; $F = 6.74$; $p = 0.048$) e caratterizzata da un intercetta non significativa ($p = 0.24$).

L'analisi relativa al volume di accumuli presenti riporta una significatività solamente con l'area delle Isole, AI (tab. 4.30) ripetendo dunque l'analisi si riscontra una relazione significativa ($R^2_{agg} = 0.66$; $F = 12.89$; $p = 0.016$) con la sola area delle isole (eq. 4.5 e fig. 4.142) tuttavia anche in questo caso l'intercetta non risulta molto significativa ($p = 0.678$).

Tabella 4.30 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume degli accumuli e le variabili morfologiche.

	F	p
AI	14.91	0.0119
NI	2.20	0.2119
Ldif	2.04	0.2483

$$\log V_{ACC} = 0.107 + 0.573 \log A_I \quad \text{Eq. 4.5}$$

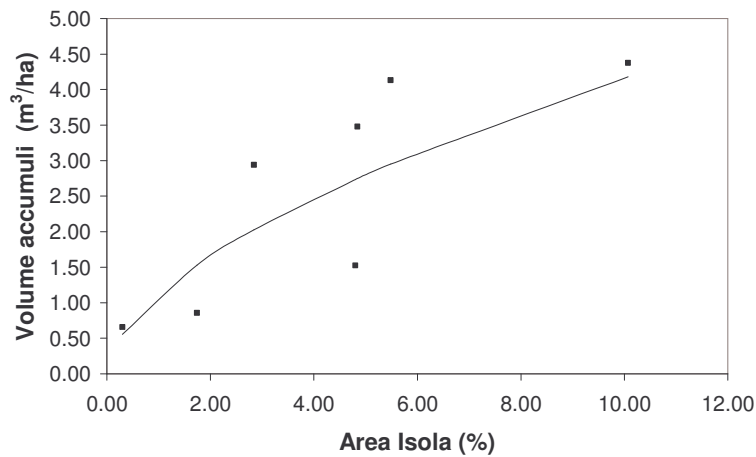


Figura 4.142 Relazione tra volume degli accumuli e area delle isole.

Lo studio della regressione multipla relativa al numero di accumuli rispetto alle variabili morfologiche riporta una dipendenza significativa da due variabili: l'area delle isole, AI, e l'area del canale, AC e una dipendenza non significativa con l'area delle barre basse, ABB (tab. 4.31). Ripetendo l'analisi con le sole due variabili significative, tuttavia, il modello non considera l'area del canale che, evidentemente viene maggiormente correlata solo in presenza della terza variabile. Il nuovo modello considera dunque solamente la variabile area isole, AI, ($R^2_{agg} = 0.75$; $F = 19.36$; $p = 0.007$) ed è caratterizzato da un'intercetta non significativa ($p = 0.131$).

Tabella 4.31 Significatività del modello di regressione multipla tra il numero degli accumuli e le variabili morfologiche.

	F	p
AI	19.36	0.0070
ABB	2.65	0.1788
AC	15.38	0.0295

L'analisi di regressione multipla è stata applicata anche ad altre due variabili: il numero di elementi caratterizzati da radici, Tr_{Rad} , e il numero di accumuli caratterizzati da vegetazione, Acc_{veg} .

Il numero di elementi caratterizzato da radici risulta legato sia all'area delle isole che all'area del canale, tuttavia quest'ultima è meno significativa rispetto all'area delle isole al punto che confrontando le due singole variabili l'area del canale risulta non significativa. Dallo studio dunque delle due singole variabili risulterebbe un'analisi significativa per l'area del canale, AC, ($R^2_{agg} = 0.66$; $F = 13.06$; $p = 0.015$), mentre l'area delle isole, AI, risulta sempre la variabile rispetto cui vi è maggior correlazione ($R^2_{agg} = 0.86$; $F = 38.59$; $p = 0.0016$). Rispetto a quest'ultima l'intercetta risulta avere forte significatività ($p = 0.0005$) e la regressione lineare è rappresentata dal seguente modello:

$$\log Tr_{Rad} = 1.084 + 0.546 \log A_I \quad \text{Eq. 4.6}$$

Un'ultima relazione riguarda il numero di accumuli con vegetazione, il quale sembrerebbe essere relazionato sia all'area delle Isole che alla sponda boscata. Confrontando le due variabili tuttavia quest'ultima è caratterizzata da una significatività che supera di poco il valore soglia $p = 0.005$ quindi può essere ritenuta una variabile influente (tab. 4.32). Al fine di cercare una relazione con al variabile, Acc_{veg} si è considerata la sola variabile indipendente AI ($R^2_{agg} = 0.66$; $F = 13.51$; $p = 0.014$) ottenendo, tuttavia, una significatività non troppo alta caratterizzata da una intercetta non significativa ($p = 0.848$).

Tabella 4.32 Significatività del modello di regressione multipla tra il numero degli accumuli caratterizzati da vegetazione e le variabili morfologiche.

	F	p
AI	13.51	0.0144
Bosco	5.52	0.0786

Un ultimo modello considerato ha voluto rapportare il volume degli accumuli oltre che con le unità morfologiche anche con il numero di elementi legnosi aventi radici. Lo scopo è quello di verificare se esiste un modello di regressione che lega queste due variabili e quindi verificare se la presenza di elementi con radici effettivamente aumenta la probabilità di creazione di accumuli. L'analisi consente di verificare un alto coefficiente di determinazione e una forte significatività con la variabile T_{Rad} , mentre per le altre variabili il modello non presenta significatività alta anche se i valori che si riscontrano non sono molto maggiori del valore limite $p = 0.05$, (tab. 4.33). Ripetendo l'analisi tra la semplice variabile V_{acc} e T_{Rad} è possibile riscontrare un'alta significatività ($R^2_{agg} = 0.93$; $F = 76.99$; $p = 0.0003$) e il modello di regressione è caratterizzato da un'intercetta significativa ($p = 0.004$). Potrà dunque essere espressa una relazione lineare tra il volume degli accumuli, V_{acc} , e il numero di tronchi con radici, T_{Rad} , all'interno tramite l'equazione 4.7.

Tabella 4.33 Significatività del modello di regressione multipla tra il Volume totale e la variabile Tronchi con radici e le variabili morfologiche.

	F	p
Trad	76.99	0.0003
NI	5.40	0.0807
NIP	7.52	0.0712
Lbosc	11.10	0.0795
W	116.10	0.0589

$$\log V_{ACC} = -1.163 + 1.129 \log T_{RAD} \quad \text{Eq. 4.7}$$

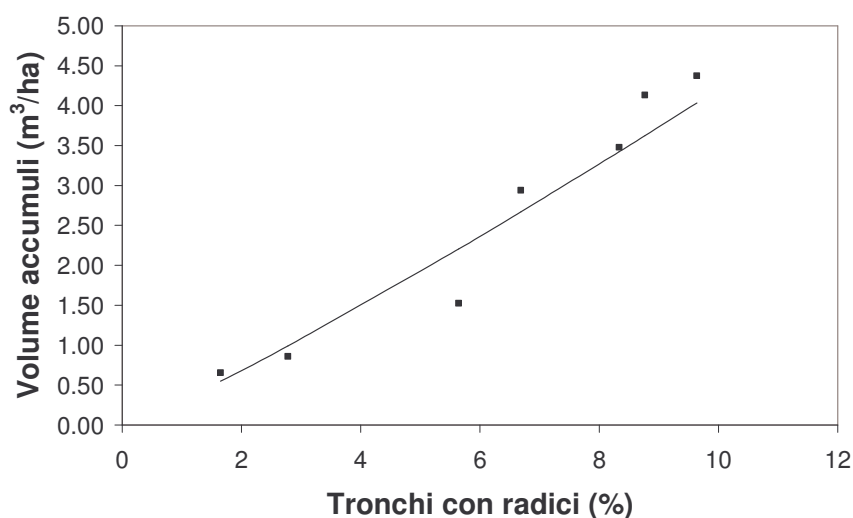


Figura 4.143 Relazione tra il volume degli accumuli e la percentuale di elementi con radici.

4.6.3.5. Distribuzione del materiale legnoso in relazione alla presenza di isole

Lo studio delle relazioni tra volume di materiale legnoso e l'area delle isole ha portato ad ipotizzare un possibile legame tra la distribuzione del materiale nell'alveo e la presenza di isole. Mediante l'utilizzo di ArcGis 9.2 è stato possibile individuare le distanze minime tra il materiale legnoso (singoli e accumuli) e le isole più vicine (fig. 4.144) per tre tratti: Levego, Lentiai e Longano.

Dalle figure (4.145 – 4.147) si evince un andamento simile nel caso di Levego e Lentiai, mentre Longano dopo una forte concentrazione oltre i dieci metri dall'isola non si riscontra un numero alto di tronchi. Non risulterebbe da quanto esposto un'effettiva relazione che lega la vicinanza delle isole ai tronchi con il numero di tronchi presenti. Tuttavia si dovrebbe considerare un ulteriore aspetto legato alla disposizione delle isole tra loro per cui si potrebbe avere un'influenza reciproca che comporta una relazione con la presenza di materiale. Nel caso specifico l'unico tratto effettivamente caratterizzato da una diminuzione di elementi legnosi oltre i 10 m è longano che è anche l'unica a non essere caratterizzata da isole pioniere. Per tutti e tre i tratti, tuttavia, si riscontra un'alternanza tra fasce di alta concentrazione e fasce di minor concentrazione di materiale legnoso caratterizzate da una larghezza media di 10 m.

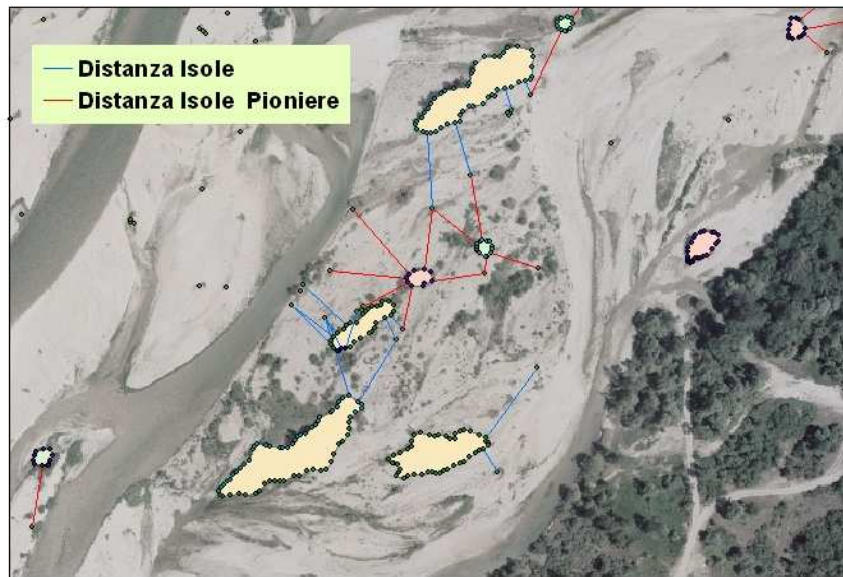


Figura 4.144 Distribuzione e analisi delle distanze minime degli elementi legnosi dalle isole.

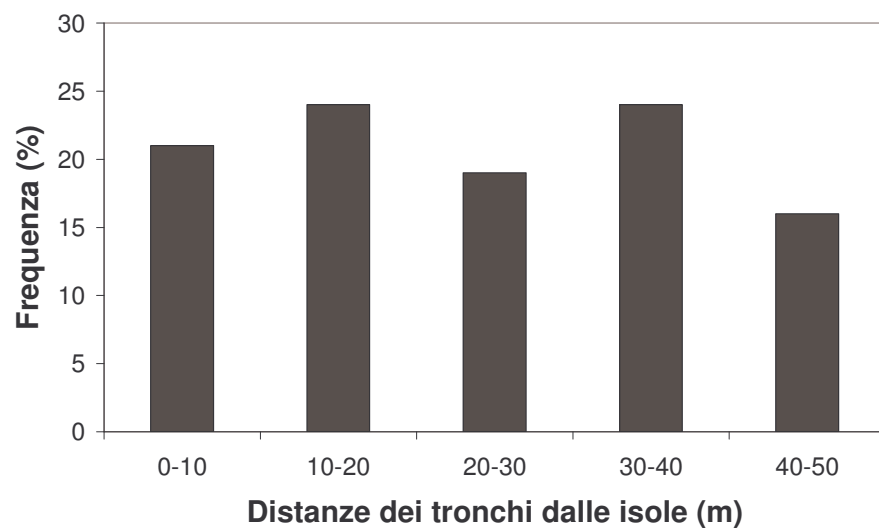


Figura 4.145 Frequenza di distribuzione delle distanze degli elementi legnosi dalle isole più vicine nel tratto di Levego.

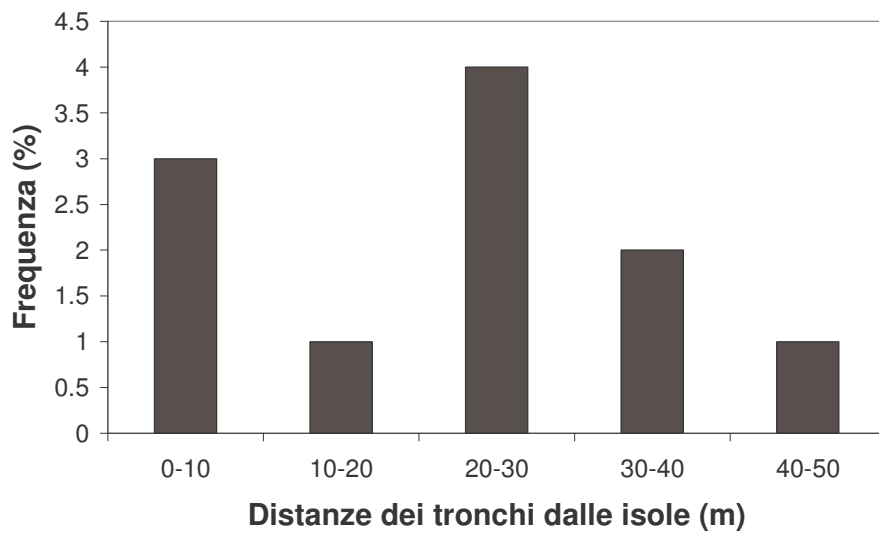


Figura 4.146 Frequenza di distribuzione delle distanze degli elementi legnosi dalle isole più vicine nel tratto di Longano.

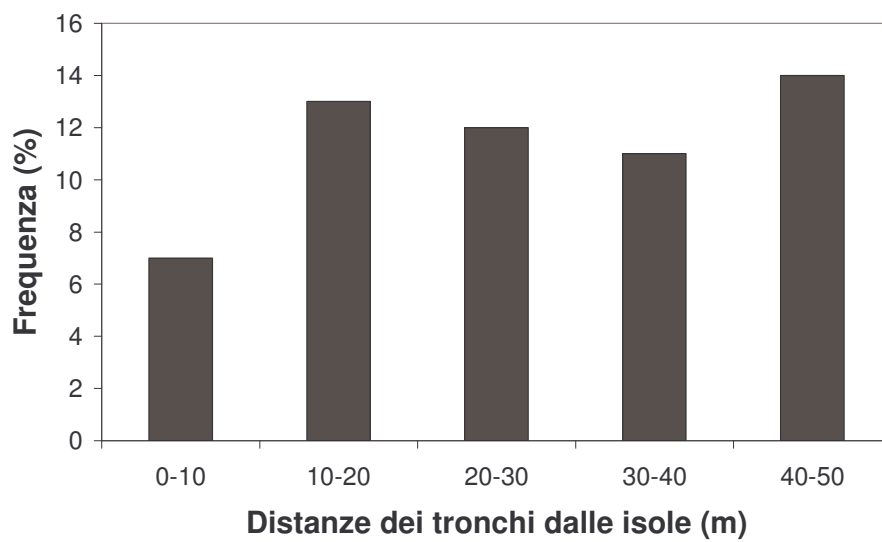


Figura 4.147 Frequenza di distribuzione delle distanze degli elementi legnosi dalle isole più vicine nel tratto di Lentiai.

5. DISCUSSIONE

5.1. Permanenza del materiale legnoso in alveo

Lo studio delle caratteristiche fisiche del materiale legnoso permette di comprendere quali cambiamenti avvengono nella struttura fisica dei tronchi in seguito all'interazione con il flusso del corso d'acqua ed alle particolari condizioni (temperatura e umidità) che caratterizzano l'alveo di un fiume. La permanenza all'interno dell'alveo fa sì che una quantità maggiore di umidità ed eventuali trasporti o possibili interazioni con la corrente cambino completamente la struttura del materiale. Come Harmon et al. (1986) riscontra, la densità del materiale diminuisce (mediamente nel caso del *Populus nigra* risulta attorno ai 0.35 g/cm^3). Dalle analisi effettuate le classi di decomposizione si distinguono oltre che per la perdita di massa anche dal deterioramento della struttura con conseguente riduzione della resistenza. I risultati sono chiaramente riferiti alla specie di pioppo studiata, altre specie potrebbero assumere comportamento diverso.

La tipologia di materiale legnoso presente in alveo è fortemente caratterizzato, oltre che dalle condizioni di temperatura e umidità, anche dal trasporto da parte del flusso di corrente. Il tronco, una volta mobilitato, può essere trasportato per chilometri e subire urti con altro materiale legnoso o rocce presenti in alveo. Questo comporta un'ulteriore variazione nella struttura del materiale e fa sì che diverse tipologie di elementi (singoli o in accumulo) si possano creare anche sulla base del tipo di corso d'acqua e del moto da questi subito. A tal fine lo studio della mobilità risulta necessario a comprendere quali relazioni possono esserci tra le dimensioni e la tipologia di materiale legnoso e la morfologia del corso d'acqua considerato. Diversi autori (Braudrick e Grant, 2001; Gurnell et al., 2002; Piégay, 2003) affermano che esiste una relazione tra il rapporto S_r dato dalla lunghezza del tronco e la larghezza del canale, e la possibilità di moto del materiale legnoso in un dato corso d'acqua; nello specifico questo rapporto sembrerebbe essere legato alla distanza percorsa dal tronco. Dallo studio sperimentale effettuato nel tratto di Praloran (Belluno) non è stato possibile verificare queste ipotesi a causa della mancanza di eventi di piena di un certo rilievo ($Q_{PIENA}=Q_{BANKFULL}$) negli ultimi tre anni, concomitante con lo sviluppo della presenta indagine. Tuttavia l'erosione di sponda provocata nella parte più a valle del

tratto considerato, ha permesso di effettuare delle osservazioni in merito al tronco T3 (vedi paragrafo 4.2) mobilitato in seguito a suddetta erosione. L'elemento legnoso T3 ha lunghezza pari a 10.7 m e diametro pari a 36 cm. La larghezza media del canale principale nel tratto di Praloran è pari a 50 m circa, di conseguenza il rapporto S_r prima citato risulta pari a 0.2. La lunghezza del percorso effettuato dal tronco T3 pari a circa 4000 m corrisponde a circa 18 volte la larghezza media dell'alveo nel tratto di Praloran. Risulta interessante il fatto che nonostante non sia stato raggiunto il tirante di *bankfull*, un tronco sui dieci osservati si è mosso comunque e a seguito di erosione di sponda. Questo fenomeno è uno dei più importanti in termini di produzione di materiale legnoso in alveo (Piégay, 2003) e porta a notare come i fenomeni legati alla variazione di morfologia dell'alveo devono essere considerati molto rilevanti per la dinamica del materiale legnoso, come già affermato da altri autori (Piégay, 2003; Van der Nat et al. 2003).

5.2. Vantaggi e svantaggi della metodologia utilizzata

Lo studio dell'influenza del materiale legnoso sulla morfologia d'alveo di un corso d'acqua necessita di diverse tipologie di rilievi e analisi in merito allo specifico aspetto considerato. L'importanza dello studio del trasporto del materiale legnoso è stata riconosciuta solo recentemente dalla comunità scientifica e questo ha reso difficile la scelta di una metodologia adeguata. La possibilità di monitorare il materiale legnoso richiede apparecchiature piuttosto costose e soprattutto l'adattamento di strumenti utilizzati per altri scopi al problema in esame (nel caso specifico trasmettitori studiati per il controllo degli animali a lungo raggio).

All'inizio della sperimentazione è sorto il problema della scelta dei tronchi in cui installare i trasmettitori. Questa è stata influenzata sicuramente dall'accessibilità del sito per poter portare la strumentazione di impianto e inoltre dalla presenza di elementi caratterizzati da dimensioni piuttosto grandi. I tronchi sono stati scelti su di unità morfologiche diverse della sezione trasversale per avere delle indicazioni su quale parte di questa sarebbe stata maggiormente coinvolta in caso di evento di piena. Si è voluta rispettare la naturale posizione dei tronchi per valutare l'effetto della piena senza intervento artificiale. La durata della batteria dei trasmettitori si è rivelata maggiore rispetto al tempo previsto superando di quasi 6 mesi i 18 previsti dalla ditta produttrice.

L'utilizzo dei trasmettitori Telonics ha permesso il ritrovamento del tronco T3 una volta mobilitato, tuttavia questo tipo di strumento pur risultando utile nel ritrovamento a distanza (fino a 300 m) può causare dei problemi se utilizzata in fiumi molto grandi. Il tronco trasportato per molti chilometri può essere non rintracciabile se non dopo diversi giorni di ricerca, comportando quindi dei tempi molto lunghi oppure può essere trasportato in una parte dell'alveo non raggiungibile. L'antenna risulta molto importante in quanto maggiore è il raggio di azione più facile risulta il ritrovamento del materiale. Sicuramente la possibilità di effettuare il rintracciamento tramite GPS permetterebbe di avere un maggior controllo degli elementi e, di conseguenza, una maggiore quantità di informazioni.

Lo studio delle caratteristiche del materiale legnoso e la sua quantificazione ha permesso, in questo caso, invece, un confronto di due metodologie diverse. La prima ha interessato il rilievo del materiale legnoso e la sua classificazione per mezzo di schede di campo, la seconda la sua misurazione per mezzo di foto aeree. Quello che è risultato dal confronto è innanzi tutto la complementarità delle due metodologie poiché è necessario avere una stima dell'errore commesso misurando i tronchi tramite foto aeree. Come già anticipato, già la fase di rettificazione della foto è fonte di errore stimabile dell'ordine di qualche centimetro. Inoltre i tronchi di dimensioni inferiori alla dimensione del pixel possono essere conteggiati ugualmente poiché l'operazione dell'algoritmo si concretizza nell'interpolazione dei pixel tra loro vicini ed assegnando a questi il colore tra loro prevalente. L'errore maggiore, come visto nel paragrafo 4.6, è quello dovuto alla dimensione più piccola del tronco, ossia il diametro, e come già spiegato diminuisce all'aumentare delle dimensioni del tronco. Oltre agli errori legati alla misurazione delle dimensioni, esistono una serie di differenze tra le due metodologie che portano a pensare come l'adozione complementare di esse possa portare a informazioni più precise. Questo è vero, per esempio, nella determinazione delle dimensioni degli accumuli i quali sono difficilmente misurabili in campo e soprattutto è necessario ricorrere alla stima dell'ipotetico parallelepipedo che racchiude l'agglomerato di materiale legnoso. Tramite foto aeree e l'utilizzo di un software GIS risulta possibile determinare l'area effettiva occupata dagli accumuli permettendo di eliminare alcuni errori legati all'approssimazione usata in campo. Una volta determinata l'area, quello che non risulta possibile dalle foto aeree è la determinazione dell'altezza che tuttavia è deducibile da un'eventuale relazione tra area e altezza degli accumuli misurati in campo. Questo esempio rende evidente la

necessità dell'utilizzo di entrambe le metodologie che sono dunque in un reciproco rapporto di complementarità e non di sostituzione. L'utilità dei rilievi di campo è sicuramente evidente mentre può sorgere il dubbio sulla reale necessità di investire sulle foto aeree. La quantificazione e la misura del materiale legnoso tramite rilievi in campo ha permesso il conteggio di qualche centinaia di elementi nel corso di quattro mesi di campagna di rilievi condizionati dalla situazione meteorologica e dall'impossibilità di raggiungere alcuni tratti, mentre l'utilizzo di foto aeree ha permesso di individuare oltre 1500 elementi in due mesi consentendo la quantificazione di tutti quegli elementi non raggiungibili a causa dell' inaccessibilità del luogo.

Un'altro aspetto è quello legato alla difficoltà di individuare le dimensioni corrette delle radici dei tronchi in caso di presenza di materiale fine o di vegetazione, che comporta un errore nella stima delle reali dimensioni totali del tronco. Questo è sicuramente legato alla scala relativamente piccola delle foto che a volte porta a confondere la vegetazione locale o il colore del terreno con il materiale legnoso.

Un ultimo aspetto negativo è quello legato all'impossibilità di visualizzare la presenza di materiale legnoso all'interno delle isole fluviali, soprattutto per quelle mature e giovani che sono caratterizzate da un folta vegetazione omogenea. Anche in questo caso la possibilità di effettuare rilievi di campo può dare una stima dell'effettivo materiale legnoso presente su questa unità.

5.3. Relazione tra morfologia dell'alveo e materiale legnoso

Lo studio del ruolo e dell'importanza che assume il materiale legnoso all'interno dei grandi corsi d'acqua necessita la conoscenza delle caratteristiche del bacino considerato (idrauliche, idrologiche e morfologiche), della vegetazione presente e della gestione forestale nonché delle attività antropiche che influenzano il corso d'acqua considerato. Risulta ormai da diversi studi (Piégay e Gurnell, 1997; Gurnell et al., 2002; Montgomery et al., 2003) che la diversa morfologia dei corsi d'acqua considerati comporta caratteristiche diverse del materiale legnoso presente e, quindi, diverse dinamiche inerenti la distribuzione e il trasporto del materiale legnoso.

Da un confronto tra diversi bacini studiati (tabella 5.1) il Piave, caratterizzato da un bacino di area pari a 3200 km² fino a Busche, può essere posizionato tra i corsi d'acqua

considerati di grandi dimensioni anche se questa definizione è più lecito legarla alla lunghezza del tronco medio presente in alveo in rapporto alla larghezza media di *bankfull* del canale. Confrontando la quantità di materiale misurato all'interno del tratto studiato con gli altri corsi d'acqua, il Piave riporta un valore molto basso (3.67 m³/ha). Questo valore sale a 9.32 m³/ha se calcolato tramite la formula di Thevenet et al., (1998), (vedi paragrafo 3.3.4.3) e risulta essere confrontabile con un altro fiume alpino, il Tagliamento.

Il valore riscontrato è sicuramente legato alla percentuale di foresta matura che ricopre la zona ripariale perché il bosco ripariale nel Vallone Bellunese ha cominciato a svilupparsi nuovamente solo negli ultimi decenni dopo periodi di forti pressioni antropiche. Fiumi come l'Ain in Francia, pur presentando diverse opere in alcune parti dell'asta fluviale, sono caratterizzati da zone fortemente forestate permettendo l'immissione di grandi quantità di materiale legnoso di maggiori dimensioni. Ancor più nei fiumi del nord America dove la presenza di foreste quasi naturali fa sì che siano presenti negli alvei quantità di materiale legnoso che superano le 500 t/ha, come nel South Fork Obion River (Tennessee).

La produzione di materiale legnoso è legata alla morfologia del fiume (paragrafo 1.4) e ai processi che caratterizzano ogni tratto. A tal proposito in un grande corso d'acqua come il Piave è possibile individuare pezzi di tronco senza rami, radici e corteccia a causa del trasporto subito, ma anche alberi ancora intatti probabilmente caduti in seguito ad erosione di sponda. Confrontando la tipologia di materiale si riscontra nettamente un maggior volume di accumuli piuttosto che di singoli tronchi. I primi sono presenti principalmente sulle barre ed in minor quantità nei canali e nelle isole, in particolare si riscontra un minor volume nelle isole pioniere dove tuttavia il numero di accumuli presenti è molto alto. I singoli occupano un volume nettamente inferiore rispetto agli accumuli, non sono, inoltre, presenti elementi singoli all'interno delle isole pioniere.

Tabella 5-1 Quantità di materiale legnoso presente in corsi d'acqua di grandi dimensioni (per la conversione si è utilizzata una densità pari a 500 kg/m³).

	Area Bacino (km²)	Materiale legnoso accumulato (m³/ha)	Riferimento bibliografico
Fiume Thomson (Australia)	3540	180 - 220	Gippel et al. 1996
Fiume South Fork Obion (Tennessee)	927	520 - 1080	Shields e Smith 1992
Fiume McKenzie (Oregon)	1024	12	Keller e Swanson 1979
Fiume Drôme (Francia)	1620	16 - 64	Piégay et al 1999
Fiume Tagliamento (Italia)	2500	2 - 12	Gurnell et al 2000
Fiume Ain (Francia)	3640	112	Piégay e Marston 1998
Fiume Piave (Italia)	3200	3.67 - 9.32	

Lo studio di Piégay e Gurnell (1997) ha considerato la diversa distribuzione di materiale legnoso rispetto alla tipologia di corso d'acqua e, in particolare, riporta la distribuzione del materiale rispetto ad una tipica sezione di un fiume a canali intrecciati (fig. 5.1). La maggior quantità di materiale legnoso sembrerebbe concentrarsi sulle barre e nel canale principale piuttosto che nei canali secondari o in zone spondali. Nel caso del Piave, il maggior numero di elementi legnosi si riscontra proprio all'interno delle barre, centrali e laterali, e del canale principale; la maggior parte del materiale è addensato principalmente rispetto sulle barre in tutto il tratto studiato.

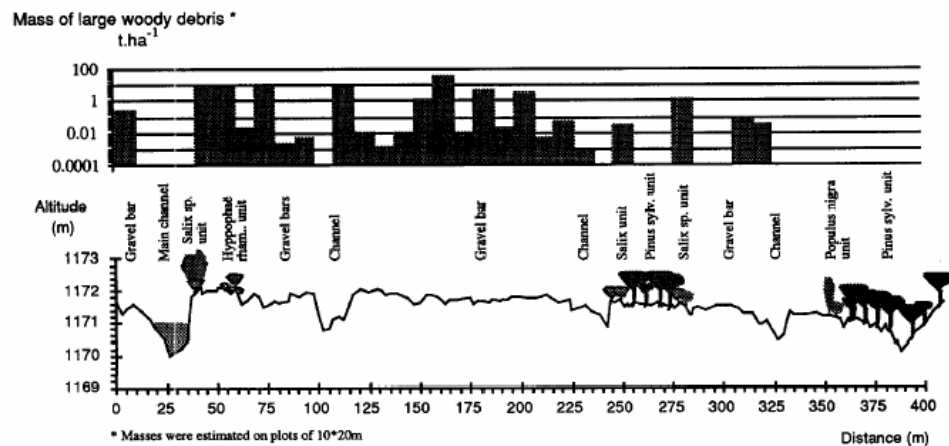


Figura 5.1 Distribuzione del materiale legnoso lungo una sezione del River Ubaye in un tratto a canali intrecciati, (Piégay e Gurnell, 1997).

Inoltre Piégay e Gurnell (1997), confrontando dati di corsi d'acqua diversi, hanno riscontrato diverse distribuzioni di materiale legnoso in base alla morfologia del tratto studiato. Per corsi d'acqua a canali intrecciati (*braided*) la presenza di bassa vegetazione ripariale e li rende a bassa efficienza di cattura, anche dovuta al basso grado di sinuosità del canale. Risulta, dunque, difficile la formazione di grossi accumuli e il materiale tende a depositarsi principalmente sulle barre. Nel caso di fiumi di tipo *wandering*, Piégay e Gurnell (1997) osservano che il materiale legnoso sembrerebbe distribuirsi nelle zone laterali caratterizzate da vegetazione ripariale e si riscontrerebbe minor quantità di materiale nel canale principale e nelle barre centrali.

Nel Piave sono stati studiati tratti con morfologia diversa proprio con lo scopo di valutare se la distribuzione delle unità morfologiche ha un'influenza sulla distribuzione del materiale legnoso.

Considerando i singoli tratti è possibile vedere come si distribuisce diversamente il materiale legnoso tra le unità morfologiche a seconda della zona considerata (fig. 5.2).

Nel tratto di Sagrogn, la percentuale maggiore (75% circa) di materiale legnoso è situata sulle barre alte, mentre solo un 20% circa è situato sulle barre basse e nelle isole e quasi nullo è il volume di elementi nel canale. Sia nel tratto di Praloran che di Cesa il volume è distribuito equamente tra barre alte e basse, nel caso di Praloran una parte è situata in corrispondenza delle isole pioniere.

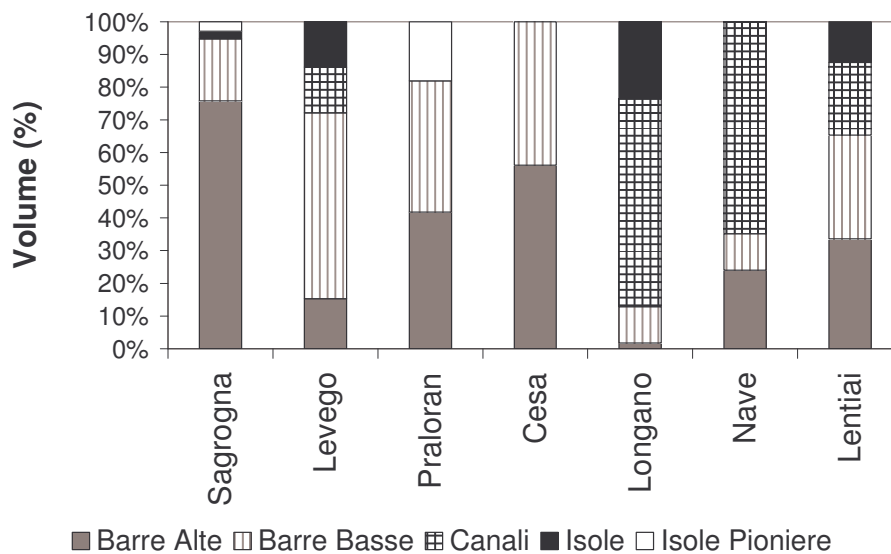


Figura 5.2 Percentuale di volume di materiale legnoso presente in ogni tratto distribuito secondo le categorie morfologiche.

Il materiale legnoso sembrerebbe quindi situato prevalentemente sulle barre nei tratti di tipo *wandering* o a barre alternate mentre per i tratti a canali intrecciati si riscontrano distribuzioni di materiale legnoso diverse. Nel tratto di Levego, che è caratterizzato da un numero medio di canali intrecciati pari a 2, sembrerebbe esserci una maggior quantità di materiale legnoso in corrispondenza delle barre basse mentre nei tratti di Longano e di Nave i canali, soprattutto quelli di morta o secondari, sembrano essere le unità morfologiche maggiormente caratterizzate da materiale legnoso. Infine nel tratto di Lentiai il materiale legnoso risulta distribuito equamente tra barre canali e isole. Le isole pioniere sembrerebbero non essere caratterizzate da materiale legnoso. Rispetto a quanto affermano Van der Nat et al. (2003) nel caso del Tagliamento per cui la maggior quantità di volume è distribuita nei tratti con maggior presenza di isole, nel caso del Piave sembrerebbe verificata tale ipotesi per cui la maggior quantità di materiale legnoso è presente nei tratti di Levego, Longano e Lentiai che sono i tratti con maggior numero di isole. In particolare il volume del materiale legnoso sembrerebbe essere fortemente correlato positivamente all'area delle isole, aspetto che risulta significativo dalle diverse analisi effettuate. La quantificazione reale dei volumi all'interno delle isole, tuttavia potrebbe essere influenzata dalla stima tramite foto aerea che impedisce di vedere all'interno delle isole. Dall'analisi

statistica la presenza degli accumuli legnosi, più che gli elementi singoli, sembra essere associata all'area delle isole presenti in ogni tratto. Lo studio mediante strumenti di geostatistica non sembrerebbe però associare con certezza questa relazione alla reale vicinanza del materiale legnoso alle isole (effetto di cattura), ma ad un fattore di presenza di isole come caratteristica morfologica. In generale queste affermazioni richiederebbero uno studio più approfondito che tenga conto dei parametri idraulici e di potenza del corso d'acqua considerato nella direzione longitudinale ma anche laterale dell'asta fluviale, come espresso da Piégay e Gurnell, (1997).

Dallo studio dell'area boscata erosa durante l'evento del 2002 è possibile dedurre (come visto nel paragrafo 4.6.1) la quantità di materiale legnoso prodotto assumendo per i boschi ripariali della zona una provvigione media di 150 m³/ha. Considerando il volume legnoso riscontrato nel tratto ed il volume di materiale legnoso immesso nel tratto durante la piena del 2002, è possibile stimare la tendenza del tratto all'accumulo o al trasporto di materiale legnoso (fig. 5.3). Dalla figura risulta una maggior tendenza alla deposizione nei tratti di Sagrogn e Levego, sempre una deposizione ma di minor rilievo si ha nei tratti di Longano e di Lentiai, mentre Cesa e Nave risultano essere caratterizzati principalmente da erosione (trasporto negativo). La tendenza al trasporto nel caso di Cesa sembra trovare riscontro anche nello spostamento del tronco T3 monitorato mediante il trasmettitore di radiofrequenza il quale non si è arenato sulle barre interne al tratto, bensì si è arrestato nella parte subito a valle di questo dove comincia una zona a canali intrecciati. Il pattern complessivamente comunque risulta non facilmente descrivibile alla sola tipologia morfologica del tratto.

Questi risultati sono un primo approccio nel caso del fiume Piave che portano a sviluppare delle prime considerazioni che necessitano di una conferma nel tempo e di un confronto più dettagliato con altri fiumi di morfologia e caratteristiche idrologiche comparabili.

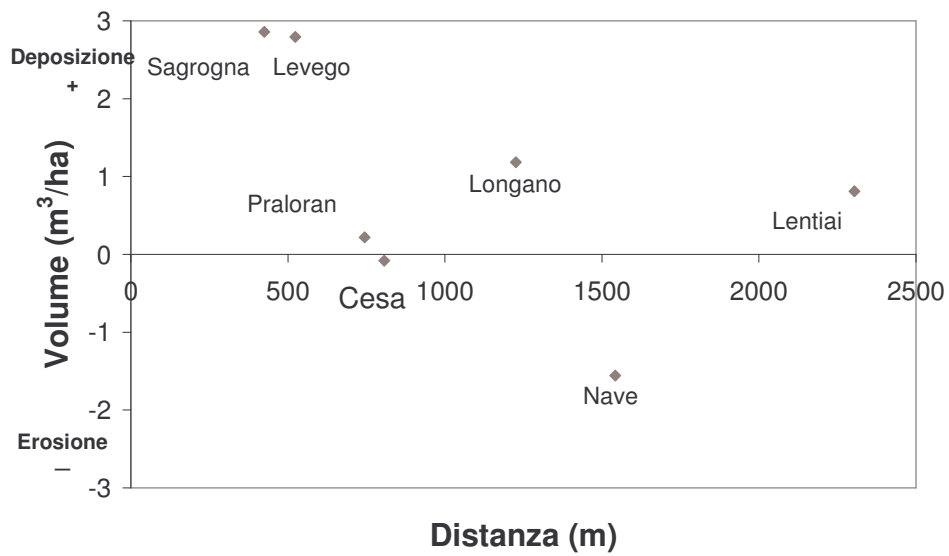


Figura 5.3 Tendenza di tratti studiati al deposito o al trasporto calcolata come differenza del materiale legnoso misurato nel tratto e la quantità di materiale legnoso creatosi in seguito ad erosione della sponda boscata.

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La ricerca affrontata in questo elaborato ha riguardato lo studio dell'interazione tra la presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni e le caratteristiche geomorfologiche di un corso d'acqua di grandi dimensioni. Nello specifico, diversi aspetti sono stati considerati e sono stati esplicitati nella formulazione di alcune ipotesi che si è cercato di sviluppare e dimostrare.

Lo studio delle caratteristiche fisiche del materiale legnoso in tre corsi d'acqua ha permesso di individuare alcune variabili confrontabili per una stessa specie (*Populus nigra*) ed evidenziare delle similitudini nell'ipotesi di condizioni ambientali (temperatura e umidità) confrontabili al momento del prelievo. Dall'analisi dei campioni prelevati si è riscontrato che:

- la densità media è risultata essere variabile tra 0.25 e 0.35 g/cm³ con una significativa differenza tra i corsi d'acqua: nel fiume Ain (0.28 g/cm³) è risultata inferiore rispetto al Magra (0.36 g/cm³) e al Piave (0.32 g/cm³);
- l'età presenta valori medi simili nel caso del Piave (16 anni) e del Magra (17 anni), mentre è nettamente più alta nel caso dell'Ain (31 anni), il coefficiente di crescita, invece, non presenta evidenti differenze;
- l'unica variabile che riporta valori non paragonabili è la resistenza a penetrazione nel caso del Piave che rimane significativamente legata all'età media dei campioni prelevati ma su cui, tuttavia, risulterebbe interessante effettuare ulteriori indagini.

Dalla ricerca condotta mediante trasmettitori di radiofrequenza nel tratto di Praloran (Belluno) per il monitoraggio del trasporto del materiale legnoso si è evidenziato:

- l'importanza della variazione della morfologia di un corso d'acqua nella mobilitazione del legname. Nonostante la fine del 2005 e gli ultimi due anni, 2006-2007 (periodo di sperimentazione), non siano stati caratterizzati da eventi di piena particolari è stato possibile riscontrare la mobilitazione di un tronco monitorato (T3) in seguito ad erosione di sponda;
- la durata delle batterie dei trasmettitori è stata maggiore rispetto a quella attesa (18 mesi contro i 24 attuali) consentendo un periodo più lungo di sperimentazione;

- la lunghezza del percorso del tronco T3 all'interno dell'alveo che risulta pari a circa 4000 m corrisponde a circa 18 volte la larghezza media dell'alveo nel tratto di Praloran.

I risultati ottenuti dall'analisi per la quantificazione del materiale legnoso condotta nel tratto studiato sul Fiume Piave mostrano che:

- il volume ipotizzabile di materiale legnoso può essere variabile tra un valore minimo pari a 3.67 m³/ha e un valore massimo pari a 9.14 m³/ha;
- il diametro medio dei tronchi singoli nel tratto è pari a 28 cm mentre la lunghezza media riscontrata è pari a 7.5 m;
- risultano dominanti specie tipiche della fascia di pertinenza fluviale (Salicaceae), mentre la presenza di conifere e altre latifoglie deriva principalmente dall'erosione spondale agente su terrazzi recenti (< 30 anni);
- una conformazione morfologica a canali intrecciati tende ad accumulare una maggior quantità di materiale legnoso, mentre zone di tipo *wandering* sono maggiormente tendenti al trasporto. Sagrona rappresenta un'eccezione poiché pur essendo un tratto di tipo *wandering* presenta un volume di materiale legnoso più alto di altre zone a canali intrecciati;
- il materiale legnoso è distribuito principalmente sulle barre (alte e basse) mentre la presenza all'interno delle isole risulta aumentare per i tratti a canali intrecciati di maggiori dimensioni quali Levego, Longano e Lentiai;
- il volume dei singoli è fortemente correlato negativamente all'area del canale;
- il volume degli accumuli è fortemente correlato positivamente all'area delle isole;
- la presenza di isole sembrerebbe aumentare la capacità di trattenuta dell'alveo influenzando la quantità di materiale legnoso presente e la morfologia del corso d'acqua. Dai risultati dell'analisi geostatistica delle distanze degli elementi legnosi dalle isole si riscontra, però, come potrebbe non essere direttamente la presenza di queste ad essere causa della quantità di materiale legnoso, quanto piuttosto sembrerebbe essere la corrispondenza tra la presenza di isole e la conformazione morfologica del fiume a creare le condizioni di facile deposito per i tronchi trasportati. Ulteriori indagini sicuramente consentirebbero di comprendere meglio il fenomeno.

Alcune considerazioni ulteriori riguardano la metodologia utilizzata nella quantificazione del materiale legnoso tramite foto aeree.

- L'utilizzo di foto aeree apporta un notevole contributo dettato dalla possibilità di misurare un numero maggiore di elementi con minor tempo e minori difficoltà logistiche rispetto ai rilievi di campo legate alla non accessibilità di alcuni tratti del corso d'acqua e ai tempi più lunghi dei rilievi dettati dalle condizioni meteorologiche;
- l'utilizzo di uno strumento GIS permette di creare un database facilmente fruibile mediante altri software di analisi;
- alcune imprecisioni quali l'impossibilità di distinzione netta del materiale in alcuni casi (vegetazione, mancanza di corteccia) rende necessario un confronto con dati di campo;
- la metodologia risulta, dunque, complementare e non sostituibile rispetto ai soli rilievi di campo che permettono semmai una validazione della misura effettuata tramite foto.

La conoscenza della tipologia di materiale presente (specie, età e caratteristiche fisiche e geometriche) consente di capire quali processi si possono facilmente innescare in relazione anche alla morfologia del corso d'acqua considerato. La dimensione del materiale legnoso è legata alla storia della gestione forestale delle zone ripariali sulle vallate Alpine. Lo sfruttamento intenso delle foreste ripariali agli inizi del novecento aveva praticamente annullato la presenza del bosco all'interno del corridoio fluviale; l'abbandono delle campagne e delle zone montane nel secondo dopoguerra ha permesso il rimboschimento naturale delle zone ripariali portando quindi probabilmente ad un aumento del materiale legnoso all'interno dei corsi d'acqua.

All'opposto, la sempre più spinta utilizzazione dei fiumi tramite opere di presa ha portato a considerare il materiale legnoso come "detrito", ossia materiale da asportare in quanto elemento di ostruzione per le opere presenti.

La nuova concezione e l'importanza attualmente riconosciuta alla riqualificazione fluviale si riferisce in modo particolare al materiale legnoso nella sua funzione ecologica ma anche in un ottica di bilancio rispetto all'effetto di rischio idraulico che la presenza di elementi legnosi nell'alveo comporta. Una tale conoscenza permetterebbe di pensare ad interventi di riqualificazione atti a eliminare il materiale legnoso in situazioni di rischio ma anche a reintrodurlo dove questo risultasse utile.

La comprensione della dinamica caratterizzante il materiale legnoso e della sua influenza sul corso d'acqua, ha dunque implicazioni su diversi aspetti concernenti l'idraulica, la morfologia e l'ecologia del fiume, ma anche sulle azioni antropiche che in esso si svolgono. Questa multidisciplinarietà del problema comporta sicuramente una maggior difficoltà nella comprensione del fenomeno che necessita, quindi, di essere studiato a più livelli e in un confronto con altre realtà nell'ottica di un' interazione e di una coordinazione tra tutte quelle discipline che si occupano di esso.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abbe T.B., Montgomery D.R., (1996). Large woody debris jams, channel hydraulics, and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: Research and Management* 12, 201–221.
- Abbe T.B., Montgomery D.R., (2003). Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington, *Geomorphology* Volume 51, Issues 1-3 (2003), pp 81-107.
- Allouche S., Thévenet A., and Gaudin P., (1999). Habitat use by chub (*Leuciscus cephalus* L. 1766) in a large river, the French upper Rhône, as determined by radiotelemetry. *Archives für Hydrobiologie* 145(2):219–236.
- Anderson N.H. & Sedell J.R. (1979) Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Annual Review of Entomology*, 24, 351–377.
- Andreoli A., Comiti F., Lenzi MA. (2007) Characteristic, distribution and geomorphic role of large woody debris in a mountain stream of the Chilean Andes. *Earth Surf. Process. Landform*, 32, 1675-1692.
- Beechie T. J., Pess G., Kennard P., Bilby R. E., and Bolton S., (2000). Modeling recovery rates and pathways for woody debris recruitment in Northwestern Washington streams. *North American Journal of Fisheries Management* 20:436–452.
- Benda L., Miller D., Sias J., Martin D., Bilby R., Veldhuisen C., Dunne T., (2003). Wood recruitment processes and wood budgeting. Pages 49-74 in Gregory, S.V., Boyer, K.L. and Gurnell, A.M., editors. *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland.
- Benda, L. E., and J. C. Sias. 1998. Landscape controls on wood abundance in streams. *Earth Systems Institute*, Seattle, Washington.
- Benda L. E., and Sias J. C., (2003). A quantitative framework for evaluating the wood budget. *Forest Ecology and Management* 172:1–16.
- Betti M., Ginanni F., Becchi I., Rinaldi M. (2006). Dinamica di accumulo dei detriti arborei in alvei fluviali. *Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, IDRA 2006, Roma, 10-15 Settembre 2006*.
- Bilby R.E., Ward J.W., (1989). Changes in characteristics and function of woody debris with increasing size of streams in western Washington. *Transactions of the American Fisheries Society* 118:368-378.

- Bilby R. E. e Bisson P. A., (1997). Function and distribution of large woody debris in Pacific coastal streams and rivers. Pages 324–346 in R. J. Naiman and R. E. Bilby, editors. *River ecology and management lessons from the Pacific coastal ecoregion*. Springer, New York.
- Bisson P.A., Bilby R.E., Bryant M.D., (1987). Large woody debris in forested streams in the Pacific Northwest: past, present, and future. In: Salo, E.O., Cundy, T.W. (Eds.), *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions*, vol. 57, pp. 143 – 190. Univ. of Washington, Institute of Forest Resources Contribution.
- Bocchiola D, Rulli M.C., Rosso R. (2006) Flume experiments on wood entrainment in rivers. *Advances in Water Resources* 29 (8): 1182-1195.
- Botkin D. B. (1993). *Forest dynamics: an ecological model*. Oxford University Press, New York.
- Bragg D. C. (2000). Simulating catastrophic and individualistic large woody debris recruitment for a small riparian system. *Ecology* 8:1383–1394.
- Brandt S.A., (2000). Classification of geomorphical effects downstream of dams. *Catena* 40: 375-401.
- 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* 22: 669–683.
- Braudrick C.A., Grant G.E., (2000). When do logs move in rivers?. *Water Resources Res.*, 36(2), 571-584.
- Braudrick C.A., Grant G.E., (2001). Transport and deposition of large woody debris in streams: a flume experiment, *Geomorphology*, Volume 41, Issue 4, 263-283.
- Chang F.F.M., e Shen H.W., (1979). Debris problems in the river environment: Federal Highway Administration Report No. FHWA-RD-79-62, pp. 67.
- Comiti F, Andreoli A, Lenzi MA, Mao L. (2006). Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). *Geomorphology*, 78: 44-63.
- Crawford D.L e Sutherland J.B., (1979). The role of actinomycetes in the decomposition of lignocellulose. *Dev. Ind. Microbiol.*, 20, 143-151.
- Curran J.H., Wohl E.E., (2003). Large woody debris and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington, *Geomorphology* Volume 51, Issues 1-3 (2003), 141-157.

- D'Agostino V., Degetto M., Righetti M., (1999). Experimental investigation on open check dams for coarse woody debris control. Dynamics of water and sediments in mountain basins. Editoriale bios.
- Da Canal M., (2006). Studio delle variazioni morfologiche del fiume Piave nel Vallone Bellunese durante gli ultimi duecento anni. Tesi del Corso di laurea Specialistica in Scienze Forestali ed Ambientali, pp. 146.
- Da Riz I., (2006). Caratteristiche geometriche e vegetazionale delle isole fluviali presenti all'interno del F. Piave nel Vallone Bellunese. Tesi di laurea triennale in Tutela e Manutenzione del territorio, pp. 86.
- D'Alpaos L. e Dal Prà A., (1996). Studio per la definizione dei vincoli e degli aspetti critici sia idraulici che naturalistici, riguardanti le escavazioni potenziali dall'alveo del Fiume Piave.
- Dal Paos L., (2000). Acque di superficie, acque del sottosuolo. In: Il Piave, Cierre Edizioni, 102-113.
- Daniels M.D., Rhoads B.L. (2003). Influence of a large woody debris obstruction on three-dimensional flow structure in a meander bend. *Geomorphology* 51(1-3): 159-173.
- 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.
- Diehl T.H., (1997). Potential Drift Accumulation at Bridges. Publication No. FHWA-RD-97-028. US Department of Transportation Federal Highway Administration Research and Development, Turner-Fairbank Highway Research Center, Virginia.
- Downs P. W., e Simon A., (2001). Fluvial geomorphological analysis of the recruitment of large woody debris in the Yalobusha River network, central Mississippi, USA. *Geomorphology* 37:65-91.
- Edwards PJ, Kollmann J, Gurnell A.M., (1999). A conceptual model of vegetation dynamics on gravel bars of a large Alpine river. *Wetlands Ecol Manage* 7: 141-53.
- Einstein H. A. e Banks R. B., (1950). Fluid resistance of composite roughness, *Eos Trans. AGU*, 31, 603-610.
- Fetherston K.L., Naiman R.J. & Bilby R.E. (1995) Large woody debris, physical processes, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest. *Geomorphology*, 13, 133-144.

- Fleece W. C., (2002). Modeling the delivery of large wood to streams with light detection and ranging (LIDAR) data. Pages 71–83 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 General Technical Report PSW-GTR-181, Pacific Southwest Research Station.
- Gippel C.J., Finlayson B.L., O'Neill I.C. (1996) Distribution and hydraulic significance of large woody debris in an Australian river. *Hydrobiologia* 318: 179–194.
- Grant G.E., Swanson F.J., (1995). Morphology and processes of valley floors in mountain streams, Western Cascades, Oregon. In: Costa, J.E., Miller, A.J., Potter, K.W., Wilcock, P.R. (Eds.), *Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology*. Geophysical Monograph, vol. 89. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 83– 101.
- Gregory S.V., Boyer K.L., Gurnell A.M., editors (2003a). *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland.
- Gregory S.V., Meleason M.A., Sobota D.J., (2003b). Modeling the Dynamics of Wood in Streams and Rivers. In: *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, S.V. Gregory, K.L. Boyer, and A.M. Gurnell (Editors). American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland, pp. 315–336.
- Gurnell A. M., Petts G. E., Hill C. T., (1995). The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management. *Journal of Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5:1–24.
- Gurnell A.M. & Linstead C. (1999) Interactions between large woody debris accumulations, hydrological processes and channel morphology in British headwater rivers. In: *Hydrology in a Changing Environment*, Vol. 1 (Eds H. Wheater & C. Kirby), pp. 381–395. Wiley, Chichester.
- Gurnell A. M., Petts G. E., Harris N., Ward J. V., Tockner K., Edwards P. J., Kollmann J.. (2000). Large wood retention in river channels: the case of the Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 25:255–275.
- Gurnell AM, Petts GE, Hannah DM, Smith BPG, Edwards PJ, Kollmann J, Ward JV, Tockner K. (2001). Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 31– 62.
- Gurnell A.M., Piégay H., Swanson F.J., Gregory S.V. (2002): Large wood and fluvial processes, *Freshwater Biology*, 47, pp. 601-619.

- Gurnell A.M., Petts G.E. (2002). Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshwater Biology* 47: 581-600.
- Gurnell A., Tockner, K., Edwards P., Petts, G.; (2005). "Effects of deposited wood on bicomplexity of river corridors". *Front Ecol Environ.* 3 (7): 377-382.
- Gurnell A.M. and Petts G.E., (2006). Trees as riparian engineers: the Tagliamento River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1558-1574
- Hack J.T. e Goodlett J.C. (1960) *Geomorphology and Forest Ecology of a Mountain region in the Central Appalachians*. United States Geological Survey Professional Paper 347, 66 p, Washington, DC.
- Harmon M.E., Franklin J.K., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack K, Cummins KW. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133-302.
- Hartley C., (1958). Evaluation of wood decay in experimental work. USDA For. Prod. Lab. Rep. 2119, Madison, Wisconsin.
- Harvey J.W. & Bencala K.E. (1993) The effect of streambed topography on surface – subsurface water exchange in mountain catchments. *Water Resources Research*, 29, 89–98.
- Harwood K. & 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., (1985). Interactions between streamside vegetation and stream dynamics. U.S. Forest Service, General Technical Report RM-120:54–58, Fort Collins, Colorado.
- Hester A. S., Hann D. W., Larson D. R., (1989). Organon: southwest Oregon growth and yield model user manual, version 2.0. Forest Research Lab, College of Forestry, Oregon State University, Corvallis.
- Hickin E.J. (1984) Vegetation and river channel dynamics. *Canadian Geographer*, 28, 111–126.
- Hyatt T. L., Naiman R. J., (2001). The residence time of large woody debris in the queets river, Washington, USA. *Ecological Applications* 11:191–202.
- Ishikawa Y., (1990). Studies on disaster caused by debris flow carryng logs down mountain streams. SABO Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction.

- Johnson S.L., Swanson F.J., Grant G.E., Wondzell S.M. (2000). Riparian forest disturbances by a mountain flood – the influence of floated wood. *Hydrological Processes* 14: 3031–3050.
- Jones I.R., Allen E., (2002). Detection of largewood debris accumulations in old-growth forests using sonicwave collection. *Transactions of the Important Tree Scientists* 120(2): 201-209.
- Käärik A.A., (1974). Decomposition of wood. In “Biology of plant litter decomposition”, Dickson C.H., Pugh G.J.E., eds.), vol. 1, 129-174. Academic Press, London.
- Keller E.A., Swanson F.J. (1979) Effects of large organic debris on channel form and fluvial process. *Earth Surface Processes* 4: 361–380.
- Kennard P., Pess G. R., Beechie T. J., Bilby B., Berg D., (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.
- Kondolf G.M., (1994). Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning* 28: 225-243
- Lassette N.S., Piégay H., Dufour S., Rollet A.J., (2007). Decadal changes in distribution and frequency of wood in a free meandering river, the Ain River, France. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI: 10.1002/esp.1605.
- Liébault F., Piégay H., (2001). Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France. *Geomorphology* 36(3–4):167–186.
- Lippert W., Müller N., Rossel S., Schauer T., Vetter G., (1995). Der Tagliamento-Flussmorphologie und Auenvegetation der größten Wildflusslandschaft in den Alpen. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 60:11–86.
- Malanson G. P., Kupfer A., (1993). Simulated fate of leaf litter and woody debris at a riparian cutbank. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 582-590.
- McDade M. H., Swanson F. J., McKee W. A., Franklin J. F., Van Sickle J., (1990). Source distance for coarse woody debris entering small streams in western Oregon and Washington. *Canadian Journal of Forest Research* 20:326–330.
- Manga M., Kirchner J.W., (2000). Stress partitioning in streams by large woody debris. *Water Resources Research* 36 (8): 2373-2379.

- Martin D.J., Benda L.E. (2001) Patterns of instream wood recruitment and transport at the watershed scale. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130, 940-958.
- Meleason, M.A., Gregory S.V., Bolte J.P., (2003). Implications of Riparian Management Strategies on Wood in Streams of the Pacific Northwest. *Ecological Application* 13:1212-1221.
- Minor, K. P., (1997). Estimating large woody debris recruitment from adjacent riparian areas. Master project. Oregon State University, Corvallis.
- Montgomery D.R., Buffington J.M., (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geol. Soc. Am. Bulletin*, vol 109, (5), 596-611.
- Montgomery D.R., Collins B.D., Buffington J.M., Abbe T.B., (2003). *Geomorphic Effects of Wood in Rivers*, American Fisheries Society.
- Moulin B., (2005). Variabilité spatiale et temporelle du bois mort dans le réseau hydrographique de l'Isère à l'amont de Grenoble. Thèse de doctorat. Université Jean Monnet de Saint-Étienne, France, pp. 441.
- Müller, N. (1995). River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact. *Archiv für Hydrobiologie* 101:477–512.
- Murphy M. L., Koski K. V., (1989). Input and depletion of woody debris in Alaska streams and implications for streamside management. *North American Journal of Fisheries Management* 9:427–436.
- Nakamura F., Swanson F.J., (1994). Distribution of coarse woody debris in a mountain stream, Western Cascade Range, Oregon. *Can. J. For. Res.* 24, 2395–2403.
- Nakamura F., Swanson F.J., Wondzell S.M., (2000) Disturbance regimes of stream and riparian systems – a disturbance-cascade perspective. *Hydrological Processes*, 14, 2849–2860.
- Nanson, G. C., Barbetti M., Taylor G., (1995). River stabilization due to changing climate and vegetation during the late Quaternary in western Tasmania, Australia. *Geomorphology* 13:145–158.
- Ng Yau loong A., Richardson J. R., (2001), Transport mechanics of floating woody debris, A thesis project presented to the Faculty of the Graduate School, University of Missouri-Columbia, pp. 81.
- Pecorari E., (2003). “Analisi del movimento dei tronchi in alvei fluviali”. Tesi di Laurea, Università di Padova, Corso di laurea in “Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio”, pp. 80.

- Pettit NE e Naiman PJ., (2005). Flood deposited wood debris and its contribution to heterogeneity and regeneration in a semi-arid riparian landscape. *Oecologia*, 145, 434-444.
- Piégay H., (1993) Nature, mass and preferential sites of coarse woody debris deposits in the lower Ain alley (Mollon reach), France. *Regulated Rivers: Research and Management*, 8, 359–372.
- Piégay H, Gurnell A.M., (1997). Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England. *Geomorphology* 19, 99-116.
- Piégay H., Marston R.A. (1998) Distribution of large woody debris along the outer bend of meanders in the Ain River, France. *Physical Geography*, 19, 318–340. *Rivers: Research and Management*, 14, 467–483.
- Piégay H., Citterio A. & Astrade L. (1998) Ligne de débris ligneux et recouplement de méandres, exemple du site de Mollon sur la rivière d’Ain (France). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 42, 187–208.
- Piégay H., Thévenet A., Citterio A., (1999). Input, storage and distribution of large woody debris along a mountain river continuum, the Drôme River, France. *Catena* 35:19–39.
- Piégay H., (2003). Dynamics of wood in large rivers (2003). Pages 109-134 in Gregory, S.V., Boyer, K.L. and Gurnell, A.M., editors. *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland.
- Rainville R. C., Rainville S. C., Linder E. L., (1986). Riparian silvicultural strategies for fish habitat emphasis. Pages 186–196 in *Foresters’s future: leaders or followers*. Society of American Foresters National Conference Proceedings. SAF Publication 8-13, Society of American Foresters, Bethesda, Maryland, USA.
- Rickenmann D., (1997). Schwemmholz und Hochwasser. *Nasser, Energie, Liftea, Energie, Ari*; 115-119.
- Rinaldi M., Becchi I., Betti M., Comiti F., (2007) - Schede di rilevamento di detriti legnosi in alvei fluviali. (in preparazione).
- Rinaldi M., (2007) presentazione del Corso di formazione “Gestione della vegetazione ripariale dei corsi d’acqua naturali e dei canali di bonifica”. Organizzato da: Università di Firenze - Dipartimento Ingegneria Agraria e Forestale in collaborazione con il Centro Italiano per la Riqualficazione Fluviale (CIRF).

- Sedell J. R., Froggatt J. L., (1984). Importance of streamside forests to large rivers: the isolation of the Willamette River, Oregon, USA, from its floodplain by snagging and streamside forest removal. *Verhandlungen International Vereinigung Limnologie* 22:1828–1834.
- Shields F. D., Smith R. H., (1992). Effects of large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 2:145–163.
- Shields F.D., Gippel C.J. (1995) : Prediction of effects of woody debris removal on flow resistance, *Journal of Hydraulic Engineering*, 121, pp. 341-354.
- Shugart H. H., West D. C., (1977). Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. *Journal of Environmental Management* 5:161–179.
- Steel E.A., Richards W.H., Kelsy K.A. (2003) : Wood and wildlife : Benefits of river wood to terrestrial and aquatic vertebrates, *American Fisheries Society Symposium*, 37, pp. 235-247.
- Surian N., (1995). I terrazzi fluviali del Vallone Bellunese (Alpi Venete). Tesi di dottorato, Università di Padova.
- Surian N., (1998). Studio finalizzato alla definizione geomorfologica della fascia di pertinenza fluviale del Fiume Piave tra Perarolo e Falzè e del torrente Cordevole tra Mas e Santa Giustina. Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione. Studi finalizzati alla redazione del piano di bacino del Fiume Piave, 38 pp. più appendici e cartografia.
- Surian N., (1999). Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 24: 1135-1151.
- Surian N., (2006). Effects of human impact on braided river morphology: examples from northern Italy. In: Sambrook Smith G. H., Best J. L., Bristow C. & Petts, G. E. (eds.), *Braided Rivers*, IAS Special Publication 36, Blackwell Science, 337-338.
- Swanson F. J., Lienkaemper G. W., Bryant M. D., (1984). Organic debris in small streams, Prince of Wales Island, southeast Alaska. U.S. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, General Technical Report PNW-166, Portland, Oregon.
- Swift M.J., (1977). The ecology of wood decomposition. *Sci. Prog.*, 64, 175-199.

- Thevenet A., Citterio A., Piegay H., (1998). A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (example of two French piedmont rivers). *Regulated Rivers: research & management*.14: 467-483.
- Tockner K, Ward JV, Arscott DB, (2003). The Tagliamento River: a model ecosystem of European importance. *Aquat Sci* 65: 239–53.
- Toole E.R., (1969). Effect of decay on trashing strength. *For. Prod. J.*, 19, 36-37.
- Triska F. J., (1984). Role of wood debris in modifying channel geomorphology and riparian areas of a large lowland river under pristine conditions: a historical case study. *Verhandlungen International Vereinigung Limnologie* 22:1876–1892.
- Uchiogi T., Shima J., Tajima H., Ishikawa Y., (1996). Design methods for wood-debris entrapment. *Proceedings Int. Symp. Interpraevent Garmisch Partenkirchen*. 5:279-288.
- Van Der Nat D., Tockner K., Edwards P.J., Ward, J.V., Gurnell A.M. (2003). Habitat change in braided flood plains (Tagliamento, NE-Italy). *Freshwater Biology* 48: 1799–1812.
- Van Sickle, J., Gregory S. V., (1990). Modeling inputs of large woody debris to streams from falling trees. *Canadian Journal of Forest Research* 20:1593–1601.
- Wallace, J. B., Benke A. C., (1984). Quantification of wood habitat in subtropical coastal plain streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41:1643–1652.
- Wallerstein N.P., Thorne C.R., Doyle M.W., (1997) : Spatial distribution and impact of LWD in northern Mississippi, in C.C. Wang, E.J. Langendoen and F.D. Shields editors, *Proceeding of the conference on management of landscapes disturbed by channel incision*, Univ. of Mississippi, Oxford, pp 145-150.
- Ward J. V., Tockner K., Edwards P. J., Kollman J., Bretschko G., Gurnell A. M., Petts G. E., Rossaro B., (1999). A reference river system for the Alps: the Fiume Tagliamento. *Regulated Rivers: Research and Management* 15:63–75.
- Ward J. V., Tockner K., Edwards P. J., Kollmann J., Bretschko G., Gurnell A. M., Petts G. E., Rossaro B., (2000). Potential role of island dynamics in river ecosystems. *Verh.Internat.Verein.Limnol.* 27: 2582-2585.

- Welty J. W., Beechie T., Sullivan K., Hyink D. M., Bilby R. E., Andrus C., Pess G., (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.
- White D.S., (1990) Biological relationships to convective flow patterns within stream beds. *Hydrobiologia*, 196, 149–158.
- Wondzell S.M. e Bisson P.A., (2003). Influence of wood on aquatic biodiversity. Pages 249-263 in Gregory, S.V., Boyer, K.L. and Gurnell, A.M., editors. *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland.
- Wondzell S.M. e Swanson F.J. (1999) Floods, channel change and the hyporheic zone. *Water Resources Research*, 35, 555–567.
- Wykoff W. R., Crookston N. L., Stage A. R., (1982). User' s guide to the Stand Prognosis Model {FVS}. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-133, Ogden, Utah.
- Young W.J., (1991) Flume study of the hydraulic effects of large woody debris in lowland rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, 6, 203–211.
- Zimmerman R.C., Goodlett J.C., Comer G.H., (1967) The influence of vegetation on channel form of small streams. In: *Symposium on River Morphology* (Eds), pp. 255–275. International Association of Scientific Hydrology Publication 75.

APPENDICE

Appendice A

3. LWD JAM SHEET		
Identification data		
Jam Code _____		
GPS Position N _____ E _____		
Classification		
Components		
in-situ/autochtonous <input type="checkbox"/>	combination <input type="checkbox"/>	transport/allochtonous <input type="checkbox"/>
Type		
bank input <input type="checkbox"/>	valley jam/debris dam <input type="checkbox"/>	debris flow jam <input type="checkbox"/>
log step <input type="checkbox"/>	flow deflection jam <input type="checkbox"/>	flood jam <input type="checkbox"/>
		bench jam <input type="checkbox"/>
		bar apex jam <input type="checkbox"/>
		bar top jam <input type="checkbox"/>
		meander jam <input type="checkbox"/>
		log rafts <input type="checkbox"/>
		bank edge/top <input type="checkbox"/>
		bank revetment <input type="checkbox"/>
Position		
Section	Bank	Plan view
thalweg (A1) <input type="checkbox"/>	bank toe <input type="checkbox"/>	point bar <input type="checkbox"/>
shallow (A2) <input type="checkbox"/>	anchored bank base <input type="checkbox"/>	lateral bar <input type="checkbox"/>
chute channel (A2, B1) <input type="checkbox"/>	anchored bank <input type="checkbox"/>	longitudinal bar <input type="checkbox"/>
active bar (B1) <input type="checkbox"/>	bank top <input type="checkbox"/>	outer meander bank <input type="checkbox"/>
high bar (B2) <input type="checkbox"/>		bridge <input type="checkbox"/>
berm/bench/shelf (B2) <input type="checkbox"/>	Vegetation	channel <input type="checkbox"/>
secondary channel (B2, C) <input type="checkbox"/>	shrubs <input type="checkbox"/>	step <input type="checkbox"/>
pioneer island (B2, C) <input type="checkbox"/>	pioneer veget (2-5 yrs) <input type="checkbox"/>	riffle <input type="checkbox"/>
established island (B2, C) <input type="checkbox"/>	established veget (> 5 yrs) <input type="checkbox"/>	pool <input type="checkbox"/>
floodplain (C) <input type="checkbox"/>		glide <input type="checkbox"/>
terrace (D) <input type="checkbox"/>		
Sketch of jam position		
s x	<i>bankfull</i>	Planview sketch
D		
C		
B2		
B		
B1		
A		
A2		
A1		
X1	X2	X3
X4	X5	X6
X7	X8	X9
X10		
cross section sketch		

Figura 1 Scheda 3 relativa alla caratterizzazione degli accumuli di materiale legnoso (Rinaldi et al. 2007).

4. LARGE WOODY DEBRIS SHEET			
Identification data			
Type <input type="checkbox"/> K=key, R=racked, S=single			
Code _____			
GPS Position N _____ E _____			
(only in case of single debris, otherwise the Jam position is considered)			
Characteristics			
Type tree <input type="checkbox"/> shrub <input type="checkbox"/> log <input type="checkbox"/> harvest residual <input type="checkbox"/>	Branches no branches <input type="checkbox"/> only butts <input type="checkbox"/> some broken <input type="checkbox"/> all almost intact <input type="checkbox"/>	Roots Rootwad <input type="checkbox"/> Diameter (m) <input type="checkbox"/> Length (m) <input type="checkbox"/> Fine roots <input type="checkbox"/>	
Trunk decay intact (with bark) <input type="checkbox"/> partial bark but solid <input type="checkbox"/> porous <input type="checkbox"/> highly decayed <input type="checkbox"/>		Rootwad orientation upstream <input type="checkbox"/> downstream <input type="checkbox"/> lateral (L/R) <input type="checkbox"/> to the north(°) <input type="checkbox"/> Origin natural mortality <input type="checkbox"/> bank erosion <input type="checkbox"/> landslide/debris flow <input type="checkbox"/> floated <input type="checkbox"/>	
Size tree/shrub: diameter (m) <input type="checkbox"/> width (m) <input type="checkbox"/>		length (m) <input type="checkbox"/> length (m) <input type="checkbox"/> height (m) <input type="checkbox"/>	
Age and conditions			
Trunk age (years) <input type="checkbox"/> (when possible)		Present vegetative activity	
Vitality strong <input type="checkbox"/> poor <input type="checkbox"/> dead <input type="checkbox"/>		no activity <input type="checkbox"/> before deposition <input type="checkbox"/> after deposition (adventitious sprouting) <input type="checkbox"/> max age adventitious sprouts <input type="checkbox"/>	
Position			
Section thalweg (A1) <input type="checkbox"/> shallow (A2) <input type="checkbox"/> chute channel (A2, B1) <input type="checkbox"/> active bar (B1) <input type="checkbox"/> high bar (B2) <input type="checkbox"/> berm/bench/shelf (B2) <input type="checkbox"/> secondary channel (B2, C) <input type="checkbox"/> pioneer island (B2, C) <input type="checkbox"/> established island (B2, C) <input type="checkbox"/> floodplain (C) <input type="checkbox"/>		Bank bank toe <input type="checkbox"/> anchored bank base <input type="checkbox"/> anchored bank <input type="checkbox"/> bank top <input type="checkbox"/> Vegetation shrubs <input type="checkbox"/> pioneer veget (2-5 yrs) <input type="checkbox"/> established veget (> 5yrs) <input type="checkbox"/>	
Plan view point bar <input type="checkbox"/> lateral bar <input type="checkbox"/> longitudinal bar <input type="checkbox"/> outer meander bank <input type="checkbox"/> bridge <input type="checkbox"/> channel <input type="checkbox"/> step <input type="checkbox"/> riffle <input type="checkbox"/> pool <input type="checkbox"/> glide <input type="checkbox"/>			
Sketch of element position			
s x		bankfull	
D			dx
C			
B2			
B			
B1			
A2			
A			
A1			
	X1	X2	X3
	X4	X5	X6
	X7	X8	X9
	X10		

Figura 2 Scheda 4 relativa alla caratterizzazione dell'elemento singolo legnoso (Rinaldi et al. 2007).

5. INTERACTION LWD, HYDRODYNAMICS AND SEDIMENTS		
Location within the channel unit		
Left, right, mid <input type="checkbox"/>		
Jam/Element orientation		
to the north (°) <input type="checkbox"/>		
Causes of deposition (for floated elements only)		
Captured	abrupt curvature <input type="checkbox"/>	Stranded <input type="checkbox"/>
protruding clasts <input type="checkbox"/> banks <input type="checkbox"/> vegetation <input type="checkbox"/> anthropic structures <input type="checkbox"/> obstacle-surrounding <input type="checkbox"/> vortex <input type="checkbox"/>		
Flow - LWD interaction		
completely submerged <input type="checkbox"/> partially submerged <input type="checkbox"/> submersion head (cm) <input type="checkbox"/> submersion toe (cm) <input type="checkbox"/> underflow <input type="checkbox"/> underflow depth (cm) <input type="checkbox"/> flow deflection <input type="checkbox"/> contraction % <input type="checkbox"/> plunging jet <input type="checkbox"/> drop height (m) <input type="checkbox"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; min-height: 100px;"> Sketch </div>	
Interaction LWD - sediments		
Local processes		
upstream <input type="checkbox"/> fill <input type="checkbox"/> scour <input type="checkbox"/> lateral deposition (L/R) <input type="checkbox"/> lateral scour (L/R) <input type="checkbox"/> length (m) <input type="checkbox"/> width (m) <input type="checkbox"/> depth/height (m) <input type="checkbox"/>	on the jam/element partially buried by sediment <input type="checkbox"/> totally buried by sediment <input type="checkbox"/>	downstream <input type="checkbox"/> fill <input type="checkbox"/> scour <input type="checkbox"/> lateral deposition (L/R) <input type="checkbox"/> lateral scour (L/R) <input type="checkbox"/> length (m) <input type="checkbox"/> width (m) <input type="checkbox"/> depth/height (m) <input type="checkbox"/>
Sediments		
upstream <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> cobble <input type="checkbox"/> boulder <input type="checkbox"/>	on the key/jam clay <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> cobble <input type="checkbox"/> boulder <input type="checkbox"/>	downstream <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> cobble <input type="checkbox"/> boulder <input type="checkbox"/>
Notes and comments		

Figura 3 Scheda 5 relativa alla caratterizzazione del materiale legnoso in merito al flusso idrico e al sedimento presente (Rinaldi et al. 2007).

Appendice B

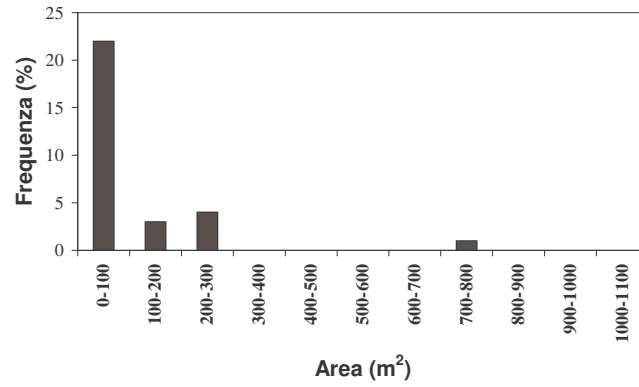


Figura 1 Frequenza aree delle isole nel tratto di Levego.

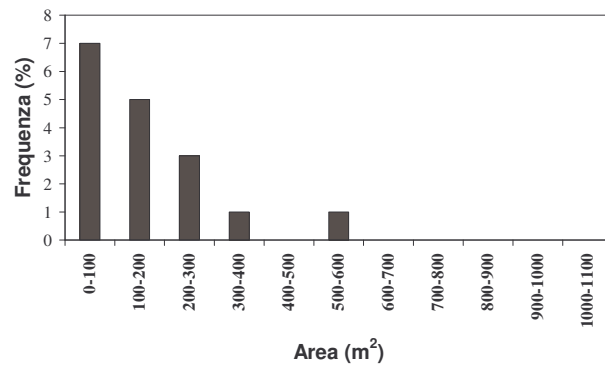


Figura 2 Frequenza aree delle isole nel tratto di Nave.

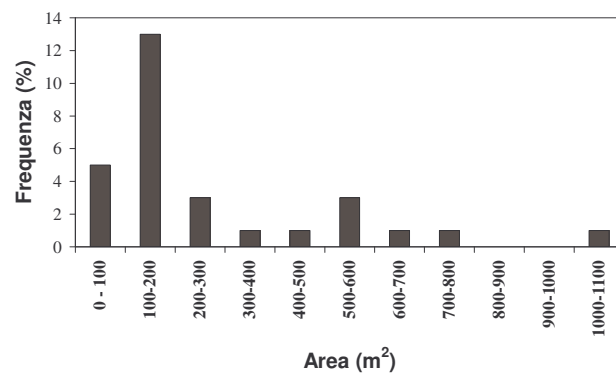


Figura 3 Frequenza aree delle isole nel tratto di Lentiai.

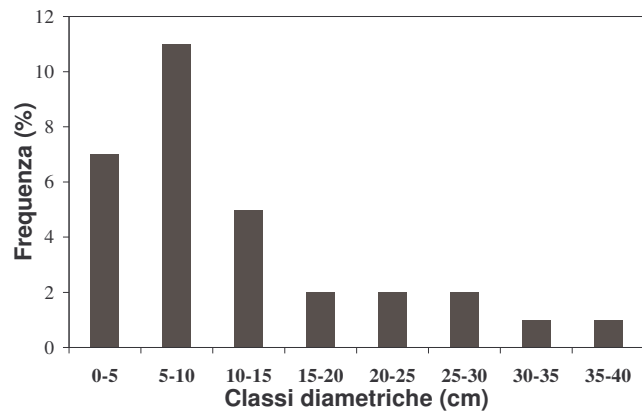


Figura 4 Frequenza classi diametriche degli alberi nelle isole nel tratto di **Levego**.

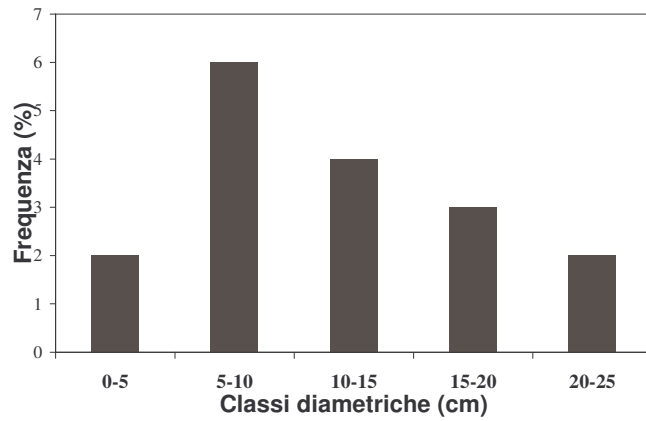


Figura 5 Frequenza classi diametriche degli alberi nelle isole nel tratto di **Nave**.

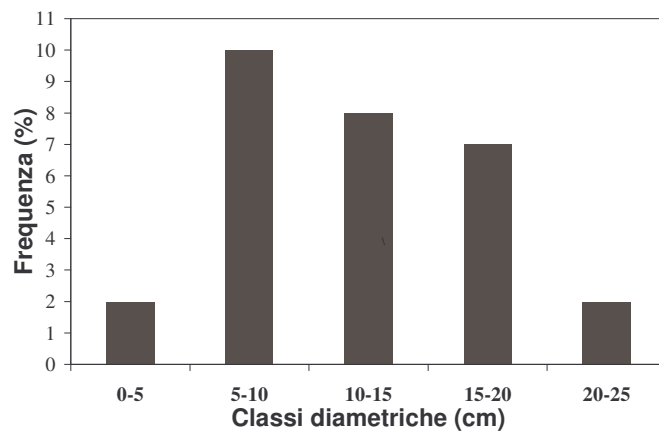


Figura 6 Frequenza classi diametriche degli alberi nelle isole nel tratto di **Lentiai**.

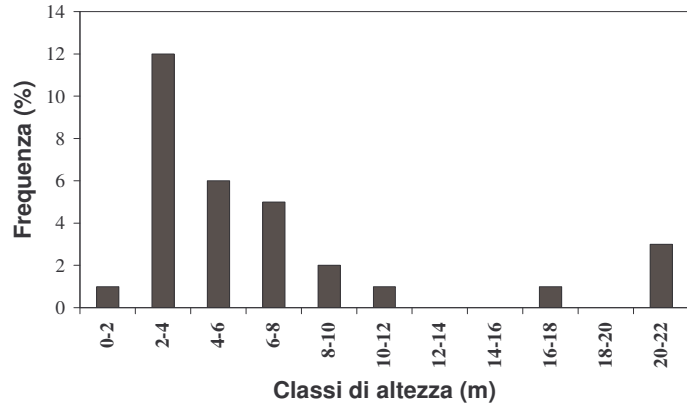


Figura 7 Frequenza classi di altezza degli alberi nelle isole nel tratto di Levego.

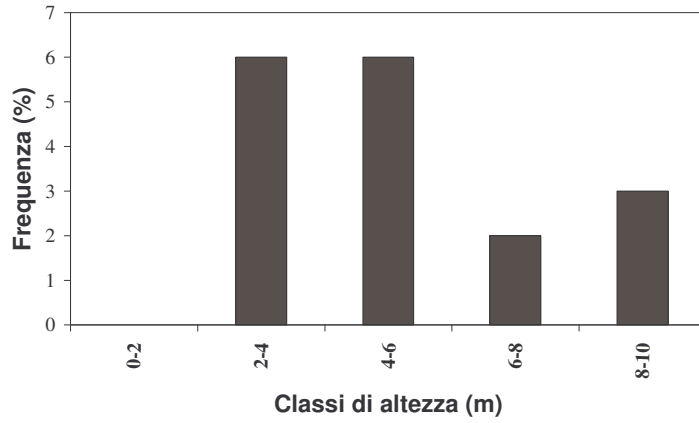


Figura 8 Frequenza classi di altezza degli alberi nelle isole nel tratto di Nave.

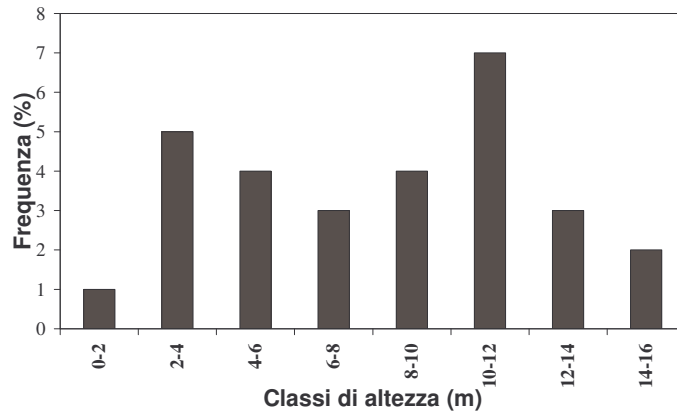


Figura 9 Frequenza classi di altezza degli alberi nelle isole nel tratto di Lentiai.

RINGRAZIAMENTI

Alla fine della mia tesi vorrei ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutata e incoraggiata in questi tre anni e le persone che hanno contribuito a questa ricerca.

Primi fra tutti i miei genitori che mi hanno appoggiata sempre e comunque anche quando non hanno condiviso completamente le mie scelte rispettando la mia libertà.

Un grazie speciale a Riccardo che mi ha sopportata e sostenuta durante questi tre anni.

Trovo doveroso ringraziare il Prof. Lenzi che ha reso possibile questa ricerca, il Dott. Comiti per avermi aiutata e seguita costantemente e Monsieur Piégay per l'esperienza a Lyon e i divertentissimi esperimenti di campo.

Un ringraziamento anche a Madame Christine Oberlin del Centre de datation par le Radiocarbone Université Claude Bernard Lyon per la gentile concessione dei dati e al Dott. Roberto Rebernig dei Servizi Forestali.

Un grazie ad Antonella ed Ileana, le segretarie più pazienti che abbia mai conosciuto.

Un ringraziamento a tutti i dottorandi, assegnisti e borsisti del Laboratorio IDEA che mi hanno sostenuta con le loro risate nei momenti difficili.

Ed un ultimo grazie ai tesisti che mi hanno accompagnata in questi tre anni durante i rilievi di campo.