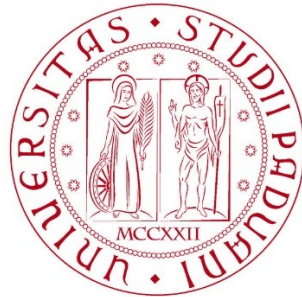


# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI



Corso di Laurea Triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali

## **MORFODINAMICA D'ALVEO: VARIAZIONI DELLA VEGETAZIONE RIPARIA E DEL CARICO DI LEGNAME IN UN TRATTO DEL FIUME PIAVE TRA IL 2016 E IL 2024**

Riverbed morphodynamics: changes in riparian vegetation and timber loading in a section of the  
Piave River between 2016 and 2024

ANNO ACCADEMICO: 2023-2024

RELATORE: Prof. Dr. Lorenzo Picco

CORRELATORE: Dr. Giacomo Pellegrini

LAUREANDO: Mirco Mario Lorigiola, matricola n. 2003879



Alla mia famiglia, senza la quale non sarei qui, e a chiunque mi voglia e mi abbia voluto bene.

# INDICE

Riassunto.....	VIII
Abstract.....	IX
1. INTRODUZIONE.....	1
1.1. Morfologia.....	2
1.1.1. Classificazioni dei sistemi fluviali.....	2
1.1.2. Forme e superfici dell'alveo fluviale.....	7
1.2. Granulometria.....	8
1.3. Vegetazione riparia.....	11
1.4. Legname in alveo.....	12
2. OBIETTIVI.....	14
3. AREA DI STUDIO.....	15
3.1. Inquadramento climatico del Veneto.....	15
3.2. Il Fiume Piave.....	16
3.3. Caratterizzazione idrologica.....	19
4. MATERIALI E METODI.....	20
4.1. Attività di campo.....	20
4.2. Analisi morfologiche.....	20
4.3. Analisi granulometriche.....	21
4.4. Analisi vegetazionali.....	22
4.5. Legname in alveo.....	22
5. RISULTATI.....	25
5.1. Analisi morfologica.....	25
5.1.1. Sezioni trasversali.....	25
5.1.2. Unità morfologiche.....	26
5.2. Analisi granulometrica.....	28
5.3. Analisi vegetazionale.....	32
5.3.1. Ricchezza specifica lungo ciascuna sezione.....	32
5.3.2. Variazione della ricchezza specifica.....	34
5.3.3. Variazione della ricchezza specifica per forma fluviale.....	38
5.4. Legname in alveo.....	40
5.4.1. Distribuzione del materiale legnoso lungo la sezione.....	40
5.4.2. Tipologia di materiale legnoso per sezione.....	42
5.4.3. Superficie della sezione coperta dal materiale legnoso.....	44

6.	DISCUSSIONI.....	45
6.1.	Analisi morfologica.....	45
6.2.	Analisi granulometrica.....	45
6.3.	Analisi vegetazionale .....	46
6.4.	Legname in alveo .....	46
7.	CONCLUSIONI.....	48
8.	BIBLIOGRAFIA .....	49
9.	SITOGRAFIA .....	54

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Il Piave alle grave di Ciano, modificazioni del tracciato del fiume nel periodo compreso tra il 1924 e il 1991 (Surian, 1999c) .....	1
Figura 2: morfologie dei corsi d'acqua montani in relazione alle condizioni di capacità di trasporto ( <i>transport capacity</i> ) e di alimentazione di sedimenti ( <i>sediment supply</i> ) (Rinaldi et al., 2010) .....	3
Figura 3: tratto di un corso d'acqua rettilineo (Cordevole a Saviner Di Laste) .....	4
Figura 4: il Piave in corrispondenza della confluenza col torrente Cordevole mostra un alveo del tipo a canali intrecciati (Bondesan et al., 2000) .....	4
Figura 5: tratto di un corso d'acqua pseudomeandriforme (Lenzi, 2011) .....	5
Figura 6: a Noventa di Piave, nella pianura, il Fiume Piave scorre placidamente dando vita a una serie di meandri (Bondesan et al., 2000) .....	6
Figura 7: schema di un taglio di meandro e della formazione di laghi in meandri abbandonati (Lenzi et al., 2000) .....	6
Figura 8: tratto di un corso d'acqua anastomizzato (Lenzi, 2011) .....	7
Figura 9: schema delle cinque principali configurazioni d'alveo (modificati da Billi, 1994), (Lenzi et al., 2000) .....	7
Figura 10: classi dimensionali per il sedimento nell'intervallo sabbia-massi (Bunte et al., 2001). ....	9
Figura 11: distribuzione delle frequenze (istogramma a barre tratteggiate) e curva della frequenza cumulata (linea spessa) con indicati i valori percentili (Bunte et al., 2001) .....	10
Figura 12: i principali serbatoi e impianti del bacino montano del Piave, con la relativa rete di infrastrutture di connessione (a). Il bacino del Piave con indicazione delle principali deviazioni idroelettriche (in rosso) e irrigue (in verde) (b), (Bondesan et al., 2000) .....	12
Figura 13: accumulo di materiale legnoso presso i piloni di un ponte (Lenzi, 2022-2023) .....	13
Figura 14: carta dei climi in Veneto di Mario Pinna (Barbi et al., 2015) .....	16
Figura 15: classificazione di Mario Pinna dei climi italiani in funzione della temperatura (barbi et al., 2015) .....	16
Figura 16: inquadramento geografico dell'area di studio (Bondesan et al., 2000) .....	18
Figura 17: dettaglio delle tre sezioni interessate dallo studio ottenuto da QGIS (scala=1:10000) ....	18
Figura 18: portata media e massima per il Fiume Piave relativa al periodo 2011-2023 (Aeroporto di Belluno, ARPAV) .....	19
Figura 19: ortofoto relativa alla sezione PR2 nell'anno 2024 (a) e nel 2016 (b) ottenuta da ArcGis Pro (scala=1:50) .....	24
Figura 20: confronto delle sezioni trasversali della sezione PR1 tra il 2016 ed il 2024 .....	25
Figura 21: confronto delle sezioni trasversali della sezione PR2 tra il 2016 ed il 2024 .....	26
Figura 22: confronto delle sezioni trasversali della sezione PR3 tra il 2016 ed il 2024 .....	26
Figura 23: variazione quantitativa delle unità morfologiche nella sezione PR1 tra il 2016 ed il 2024 .....	27
Figura 24: variazione quantitativa delle unità morfologiche nella sezione PR2 tra il 2016 ed il 2024 .....	27
Figura 25: variazione quantitativa delle unità morfologiche nella sezione PR3 tra il 2016 ed il 2024 .....	28
Figura 26: distribuzione dei D <sub>50</sub> nella sezione PR1 nel 2016 e nel 2024 .....	29
Figura 27: risultati del test t di Welch relativi alla granulometria in PR1 per i due anni di studio .....	29

Figura 28: distribuzione dei $D_{50}$ nella sezione PR2 nel 2016 e nel 2024.....	30
Figura 29: risultati del test t di Welch relativi alla granulometria in PR2 per i due anni di studio ....	30
Figura 30: distribuzione dei $D_{50}$ nella sezione PR3 nel 2016 e nel 2024.....	31
Figura 31: risultati del test t di Welch relativi alla granulometria in PR3 per i due anni di studio ....	31
Figura 32: variazione in numero delle aree di saggio interessate o meno dallo studio per ciascuna sezione tra il 2016 ed il 2024 .....	32
Figura 33: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR1 nel 2016.....	33
Figura 34: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR1 nel 2024.....	33
Figura 35: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR2 nel 2016.....	33
Figura 36: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR2 nel 2024.....	34
Figura 37: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR3 nel 2016.....	34
Figura 38: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR3 nel 2024.....	34
Figura 39: distribuzione del numero di specie in PR1 nel 2016 e nel 2024 .....	35
Figura 40: risultati del test t di Welch relativi alla ricchezza specifica in PR1 per i due anni di studio .....	35
Figura 41: distribuzione del numero di specie in PR2 nel 2016 e nel 2024 .....	36
Figura 42: risultati del test t di Student per gruppi non appaiati relativi alla ricchezza specifica in PR2 per i due anni di studio .....	37
Figura 43: distribuzione del numero di specie in PR3 nel 2016 e nel 2024 .....	38
Figura 44: risultati del test t di Welch relativi alla ricchezza specifica in PR3 per i due anni di studio .....	38
Figura 45: distribuzione del numero di specie per forma fluviale in PR1 nel 2016 e nel 2024.....	39
Figura 46: distribuzione del numero di specie per forma fluviale in PR2 nel 2016 e nel 2024.....	39
Figura 47: distribuzione del numero di specie per forma fluviale in PR3 nel 2016 e nel 2024 (il dato relativo alla piana alluvionale nel 2024 deriva da una sola area di saggio).....	39
Figura 48: distribuzione del materiale legnoso lungo PR1 in funzione della quota nel 2016 .....	40
Figura 49: distribuzione del materiale legnoso lungo PR1 in funzione della quota nel 2024 .....	41
Figura 50: distribuzione del materiale legnoso lungo PR2 in funzione della quota nel 2016 .....	41
Figura 51: distribuzione del materiale legnoso lungo PR2 in funzione della quota nel 2024 .....	41
Figura 52: distribuzione del materiale legnoso lungo PR3 in funzione della quota nel 2016 .....	42
Figura 53: distribuzione del materiale legnoso lungo PR3 in funzione della quota nel 2024 .....	42
Figura 54: tipologia di materiale legnoso in PR1 nel 2016 e nel 2024.....	43
Figura 55: tipologia di materiale legnoso in PR2 nel 2016 e nel 2024.....	43
Figura 56: tipologia di materiale legnoso in PR3 nel 2016 e nel 2024 .....	43
Figura 57: superficie coperta dal materiale legnoso per ciascun transetto nei due anni.....	44

# Riassunto

I sistemi fluviali sono complessi e presentano una relazione reciproca tra la morfologia del corso d'acqua e la vegetazione presente nell'alveo, entrambe influenzate dalle pressioni antropiche. Il presente lavoro si pone l'obiettivo di valutare le variazioni avvenute in un tratto del Fiume Piave (nord-est Italia), considerato mediamente disturbato dall'azione antropica, tra il 2016 ed il 2024. Lo studio, svolto nei pressi di Limana (BL), ha posto l'attenzione alle modificazioni morfologiche, granulometriche, di vegetazione riparia e legname in alveo. L'analisi si è concentrata su tre sezioni trasversali, e per ciascuna di queste si sono determinate le variazioni descritte in precedenza, raccogliendo i dati sia mediante rilievi in campo, sia con l'utilizzo di GIS. Dai risultati emerge un'evoluzione del corso d'acqua in linea con quanto riportato da altri studi relativi ai sistemi fluviali mediamente disturbati; tuttavia, la persistenza delle aree di saggio classificate come piana alluvionale risulta inferiore rispetto a quella riportata in tali lavori. Ciò potrebbe essere dovuto alla Tempesta Vaia, la quale ha provocato un evento di piena eccezionale verificatosi nel 2018. Pertanto, nei prossimi anni, è possibile che si osservino ulteriori variazioni nelle dinamiche dei corsi d'acqua, influenzate non solo dall'azione umana, come accaduto nei secoli passati, ma anche dai cambiamenti climatici come nel caso esemplificativo dell'evento Vaia.



# Abstract

River systems are complex and have a reciprocal relationship between the watercourse's morphology and the vegetation present in the riverbed, both influenced by anthropogenic pressures. This work aims to estimate the changes that have occurred in a stretch of the Piave River (north-eastern Italy), considered moderately disturbed by human action, between 2016 and 2024. The study, which took place near Limana (BL), focused on morphological, granulometric, riparian vegetation and timber in the riverbed changes. The analysis focused on three cross-sections, and for each of these the previously mentioned changes have been determined, through the collection of data both through field surveys, and with GIS. The results show a watercourse's evolution in line with other studies conducted on intermediate-disturbed rivers; however, the persistence of the test areas classified as floodplain is lower than that reported in these works. This could be due to the Vaia Storm, which caused an exceptional flood event in 2018. Therefore, in the coming years, it is possible that further variations in the dynamics of watercourses will be observed, influenced not only by human action, as happened in past centuries, but also by climate change as in the exemplary case of the Vaia event.

# 1. INTRODUZIONE

I fiumi europei sono stati regolati da centinaia di anni per permettere lo svolgimento delle attività umane (Whitton, 1984; Petts et al., 1989), ciò ha però comportato la semplificazione della morfologia fluviale e la soppressione delle dinamiche naturali (Figura 1). Oltre a ciò, la complessità dei sistemi fluviali morfologicamente intatti rappresenta un ostacolo nella completa comprensione delle dinamiche che li caratterizzano, basti pensare che diversi studi, nella loro forma originale, assumono implicitamente che fiumi non modificati presentino un canale a corso singolo, che va dalle sorgenti al mare (Ward et al., 1999). I fiumi a fondo ghiaioso sono sistemi fluviali dinamici, scorrendo in uno o più canali alluvionali, e caratterizzati dalla presenza di isole fluviali, ghiaia, barre erbacee e vegetate che permettono la creazione di una piattaforma diversificata (Leopold and Wolman, 1957; Brierley and Fryirs, 2005; Picco et al., 2014a). La presenza contemporanea di diverse unità morfologiche attribuisce complessità elevata in questi ambienti fluviali, con dinamismo elevato nello spazio e nel tempo (Bertoldi et al., 2009; Picco et al., 2015). Le variazioni nella geomorfologia sono strettamente correlate all'interazione tra diversi fattori come condizioni di flusso, granulometria del sedimento, forme del canale, e vegetazione riparia (Hupp and Osterkamp, 1996; Gurnell et al., 2001; Gurnell and Petts, 2002a; Mikuš et al., 2013).

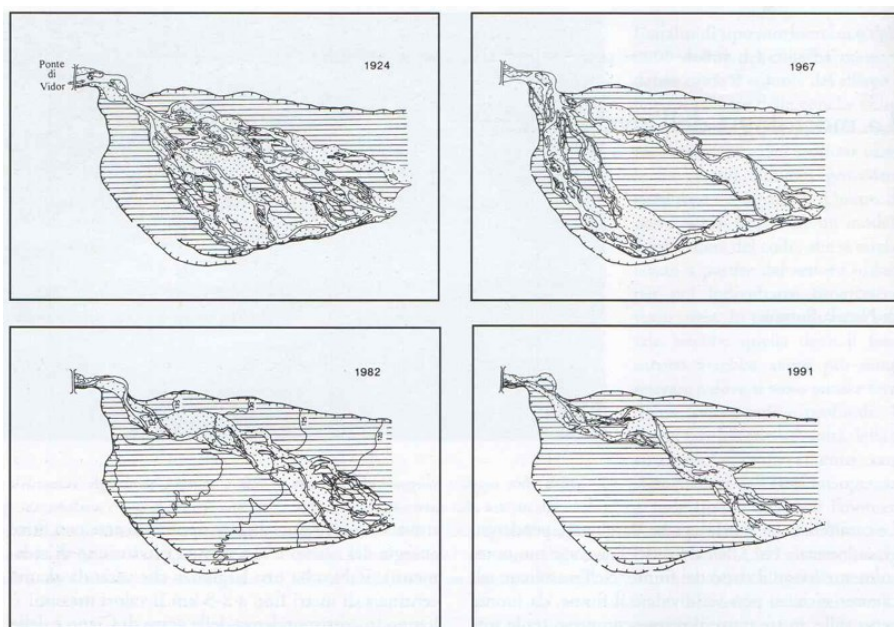


Figura 1: Il Piave alle grave di Ciano, modificazioni del tracciato del fiume nel periodo compreso tra il 1924 e il 1991 (Surian, 1999c)

## 1.1. Morfologia

Con il termine morfologia fluviale s'intende l'associazione delle varie forme assunte dai principali elementi fisiografici che compongono un fiume (Billi, 1995). Una prima classificazione si può ottenere suddividendo i fiumi in due categorie principali: alvei a fondo fisso e alvei a fondo mobile. I primi scorrono sulla roccia e sono pressoché privi di sedimenti; e pertanto, la loro morfologia dipende in gran parte dalle caratteristiche geologiche del terreno su cui sono incisi. I fiumi con alveo a fondo mobile scorrono, invece, sui propri sedimenti, realizzando adattamenti morfologici (dimensione, forma, tracciato, pendenza) al variare delle condizioni generali d'assetto del bacino e delle condizioni di flusso (Billi, 1994). Di seguito vengono riportate due classificazioni, quella di Montgomery & Buffington (1997) e la classificazione di Billi (1994).

### 1.1.1. *Classificazioni dei sistemi fluviali*

#### Classificazione di Montgomery & Buffington (1997)

Secondo tale classificazione, i corsi d'acqua montano-collinari possono presentare un alveo in roccia, pressoché privo di sedimenti, oppure più frequentemente un alveo a fondo mobile. Questi ultimi vengono distinti in cinque tipologie: (1) rapida (*cascade*), gradinata (*step pool*), (3) letto piano (*plane bed*), (4) raschi e pozze (*riffle-pool*), (5) *dune-ripple*. Tali morfologie sono il risultato del rapporto tra la capacità di trasporto e di alimentazione dei sedimenti, le prime tipologie (*cascade e step-pool*) sono associabili a condizioni di trasporto eccessivo, le ultime (*riffle-pool e dune ripple*) sono invece associabili a condizioni di trasporto deficitario (Figura 2). Agli alvei in roccia e alle cinque tipologie sopra definite, si possono aggiungere: (a) tratti colluviali, tipici di zone di testata del reticolo idrografico ed incise quindi nel materiale colluviale trasportato dai fenomeni gravitativi; (b) morfologie imposte, nelle quali le ostruzioni da parte del materiale legnoso provocano una variazione della pendenza e della portata solida, e quindi la formazione di una configurazione del fondo diversa da quella che normalmente si verrebbe a determinare (Rinaldi et al., 2010).

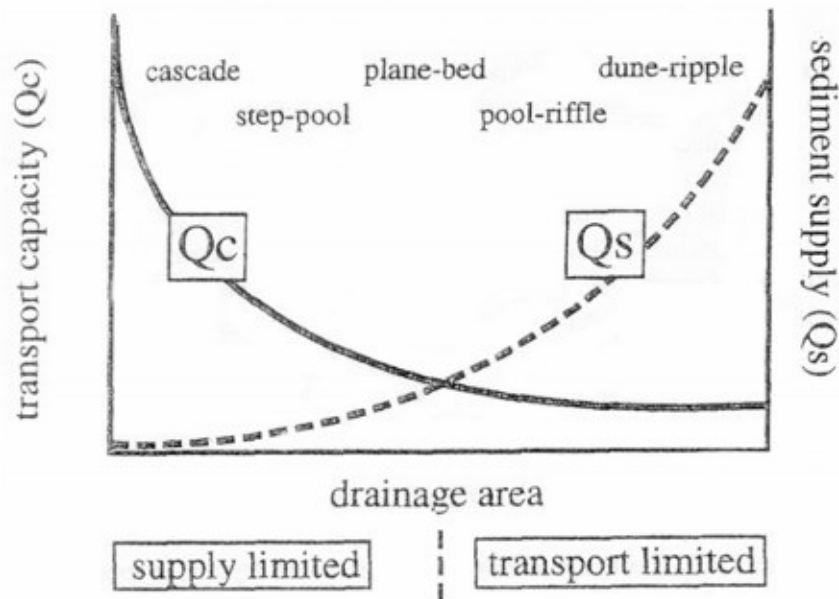


Figura 2: morfologie dei corsi d'acqua montani in relazione alle condizioni di capacità di trasporto (transport capacity) e di alimentazione di sedimenti (sediment supply) (Rinaldi et al., 2010)

#### Classificazione di Billi (1994)

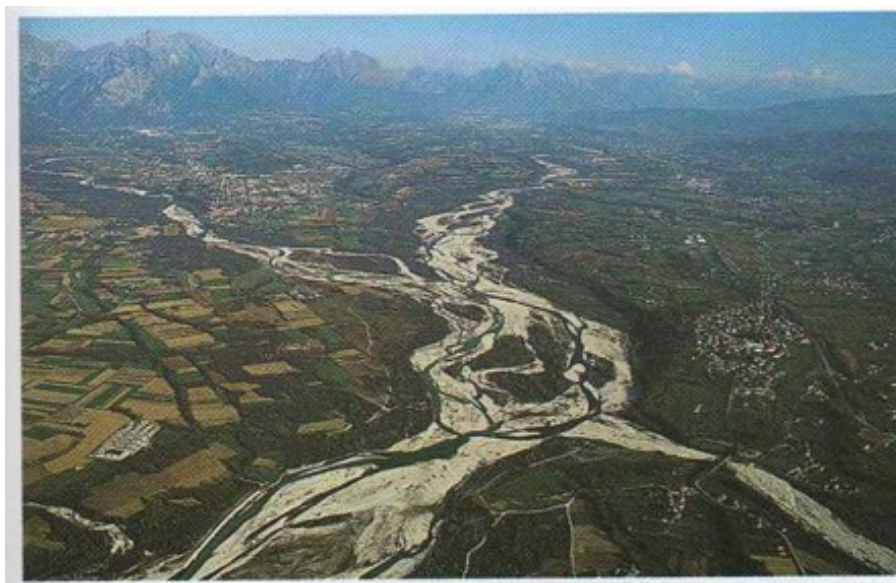
Secondo tale classificazione, le tipologie morfologiche dei corsi d'acqua possono essere raggruppate in cinque configurazioni d'alveo principali (Figura 9), (Lenzi et al., 2000):

1. **Sistema a canali rettilinei** (Figura 3): questo è tipico delle zone montane caratterizzate da delle pendenze piuttosto elevate ( $>0,5-1\%$ ), e da un elevato apporto dei sedimenti grossolani. Tipicamente questi corsi d'acqua scorrono nel fondo di valli a V e non presentano una piana alluvionale, in caso contrario, questa risulta in genere ridotta. Se con fondo mobile, un elemento morfologico fondamentale è costituito dalla successione di tratti a pendenza più sostenuta e profondità di flusso modeste (*riffle*), con tratti a profilo più piatto e tiranti d'acqua maggiori (*pool*). In questi sistemi si verifica la formazione di barre laterali alternate caratterizzate da larghezze dello stesso ordine di grandezza del canale e da lunghezze più variabili, fra 2 e 7 volte la larghezza di questo. Il sedimento si presenta più grossolano alla testa della barra (parte di monte) perché investito direttamente dalla corrente; la coda della barra presenta materiale più fine (fino a sabbia) deposto in seguito alla separazione del flusso (correnti secondarie a minor velocità), (Lenzi, 2022-2023). I fenomeni di avulsione sono piuttosto rari (purché il torrente non si trovi sul corpo di un conoide), sono invece più comuni i fenomeni di erosione (Lenzi et al., 2000).



*Figura 3: tratto di un corso d'acqua rettilineo (Cordevole a Saviner Di Laste)*

2. **Sistema pluricursale a canali multipli intrecciati** (Figura 4): la formazione di tale sistema è favorita da condizioni di elevata energia e una marcata pendenza del fondovalle, da portate variabili, da elevata disponibilità di sedimenti e da sponde non coesive (Lenzi et al., 2000). L'alveo si sviluppa con dei bassi indici di sinuosità e presenta tipicamente dei canali poco incavati. Durante i periodi di magra si possono identificare due o più canali di simile dimensione separati da barre o isole, che si intrecciano ripetutamente (Billi, 1994). Il rapporto larghezza/profondità è generalmente superiore a 40 ed arriva fino a 300. Le barre più basse sono continuamente soggette a dei fenomeni di sommersione, mentre la presenza della vegetazione sulle barre più elevate favorisce la sedimentazione del materiale fine ed un'ulteriore stabilizzazione di queste. In concomitanza degli eventi di piena si verificano ampi e frequenti spostamenti delle barre e dei canali (Lenzi et al., 2000).



*Figura 4: il Piave in corrispondenza della confluenza col torrente Cordevole mostra un alveo del tipo a canali intrecciati (Bondesan et al., 2000)*



3. **Sistema unicursale pseudomandriforme** (Figura 5): questi sistemi fluviali sono caratterizzati da un unico canale attivo e da barre laterali alterne, possono presentare anche un secondo canale, generalmente aderente ad una delle due sponde e di larghezza inferiore a quella del canale principale. Elemento peculiare è dato dalla sinuosità, che varia a seconda della portata, da valori superiori a 1,5, tipici dei sistemi meandriformi, a valori molto prossimi ad 1, tipici dei sistemi fluviali rettilinei o a canali multipli intrecciati (Billi, 1994). Tali sistemi fluviali sono considerati da alcuni autori come una configurazione non definitiva, che tende ad evolvere in quella meandriforme o in quella a canali intrecciati. Per tale motivo risulterebbero quindi idraulicamente e geomorfologicamente instabili, una piccola variazione dei parametri in gioco porterebbe ad una modificazione del tipo di tracciato. Queste considerazioni inducono a pensare che tali sistemi fluviali siano piuttosto rari, anche se questi risultano relativamente comuni nelle zone appenniniche e nella pianura padano-veneta (Lenzi et al., 2000).



*Figura 5: tratto di un corso d'acqua pseudomeandriforme (Lenzi, 2011)*

4. **Idrosistema unicursale meandriforme** (Figura 6): questi sono corsi d'acqua caratterizzati da delle pendenze molto modeste (anche inferiori allo 0,1%). Tali sistemi fluviali sono caratterizzati da un valore di sinuosità superiore a 1,5 (talvolta può arrivare a 3), che non risente delle variazioni del livello idrometrico, e che dà luogo alla successione sul tracciato planimetrico di anse curvilinee, dette meandri. Una caratteristica peculiare è data dall'elevata mobilità del canale, che si verifica attraverso la migrazione ed il taglio dei meandri (Figura 7). La migrazione del meandro si verifica per l'erosione della sponda esterna e per la sedimentazione all'interno della curva, mentre il suo taglio avviene per l'erosione sulla sponda

esterna di due meandri contigui, la quale porta le due anse ad avvicinarsi fino a chiudere ad anello il meandro tra di esse frapposto (Lenzi et al., 2000).



Figura 6: a Noventa di Piave, nella pianura, il Fiume Piave scorre placidamente dando vita a una serie di meandri (Bondesan et al., 2000)

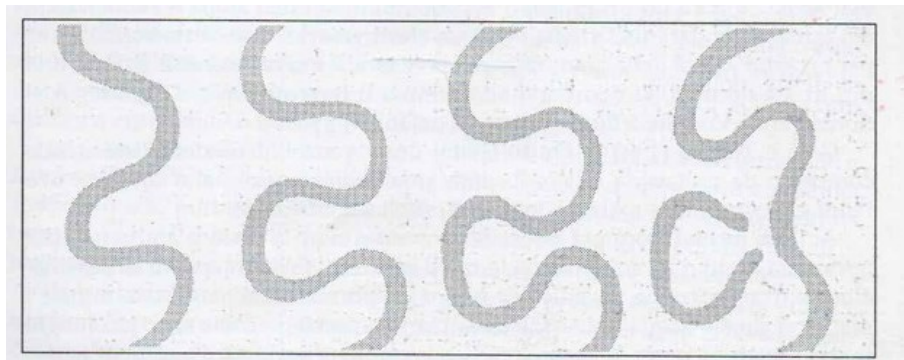


Figura 7: schema di un taglio di meandro e della formazione di laghi in meandri abbandonati (Lenzi et al., 2000)

5. **Sistemi anastomizzati** (Figura 8): questi presentano pendenze molto basse ( $<0,01\%$ ) e sono costituiti da due o più canali relativamente stabili e con una sinuosità variabile, separati questi da porzioni di piana alluvionale le cui dimensioni sono in genere pari a svariate volte la larghezza del canale. Tale morfologia evidenzia una bassa variabilità delle portate, uno scarso trasporto solido in sospensione ed una quasi totale assenza del trasporto solido al fondo (Billi, 1994).



Figura 8: tratto di un corso d'acqua anastomizzato (Lenzi, 2011)

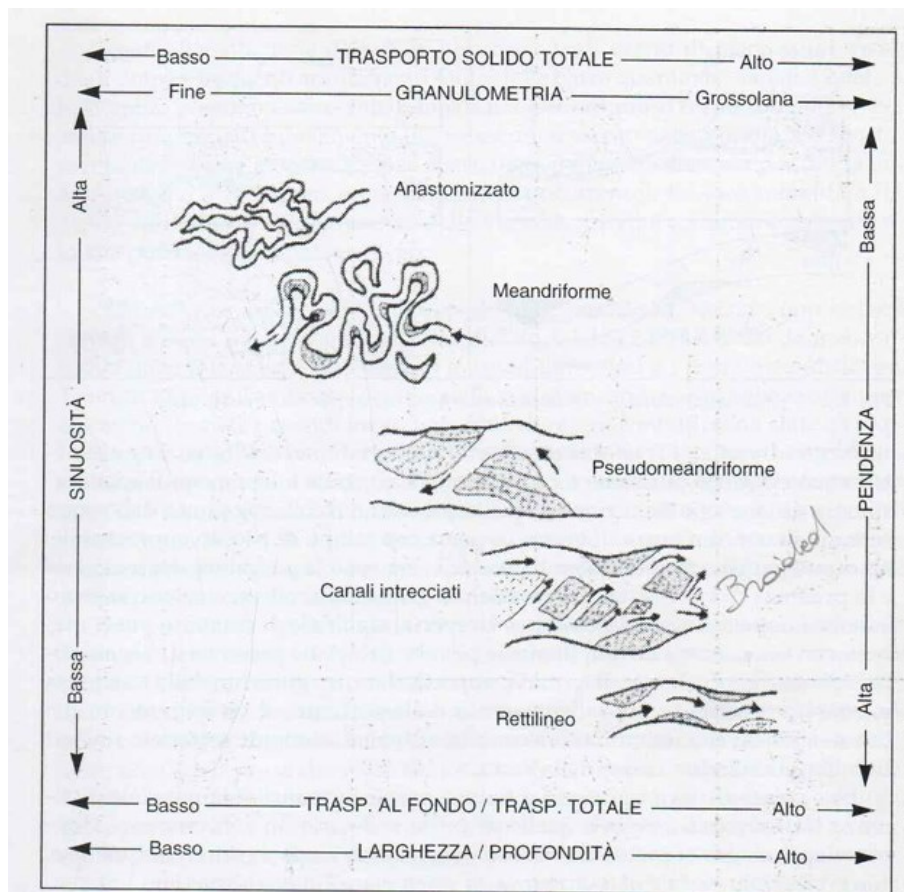


Figura 9: schema delle cinque principali configurazioni d'alveo (modificati da Billi, 1994), (Lenzi et al., 2000)

### 1.1.2. Forme e superfici dell'alveo fluviale

L'insieme dei canali, delle barre e delle isole costituisce l'alveo. Con il termine *bankfull* si fa riferimento al livello idrometrico associato alla massima portata contenibile nell'alveo senza il verificarsi di fenomeni di esondazione, e questo coincide con il suo limite. In un alveo fluviale si possono distinguere differenti forme e superfici sulla base di una serie di elementi (morfologia, sedimentologia, vegetazione e processi), (Surian et al., 2009).



**Canale:** questo, o questi, corrispondono alle porzioni più depresse dell'alveo, le quali sono generalmente sede del deflusso idrico. Il termine *talweg* sta ad indicare il punto più depresso dell'alveo (Surian et al., 2009).

**Barra:** superficie deposizionale costituita dai sedimenti analoghi a quelli presenti sul fondo del canale, e che risulta generalmente emersa ed interessata dai flussi idrici solo durante gli eventi di piena. Può essere ricoperta dalla vegetazione, ma questa è discontinua e di tipo erbaceo-arbustivo (Surian et al., 2009).

**Isola:** porzione più elevata dell'alveo e sommersa con una minore frequenza, è ricoperta da vegetazione sia erbaceo-arbustiva che arborea. Le isole possono essere distinte in "isole pioniere", "isole giovani" e "isole stabili". Le prime presentano vegetazione sparsa e con un'altezza compresa tra 3 e 5m. la vegetazione delle "isole giovani" risulta più matura delle precedenti e arriva a raggiungere altezze comprese tra 5 e 15m. Nelle ultime sono presenti significativi spessori dei sedimenti fini che le ricoprono (da decine di cm a 1,5-2m) ed una copertura vegetazionale pressoché totale, con altezze maggiori di 15m (Surian et al., 2009; Foresta, 2023).

**Piana inondabile:** superficie pianeggiante adiacente all'alveo e caratterizzata generalmente da quote più elevate rispetto a questo, da dei sedimenti a granulometria più fine e da una copertura vegetale più stabile e decisamente più matura. Questa è generalmente sottoposta alle inondazioni con una frequenza dell'ordine di 1-3 anni di tempo di ritorno (Surian et al., 2009).

## 1.2. Granulometria

La dimensione del sedimento è in grado di influire sulla morfologia e sull'idraulica dei corsi d'acqua. La comprensione di aspetti legati alla morfologia fluviale può essere favorita dall'analisi della variabilità del sedimento. Molte procedure computazionali riguardanti la scabrezza del canale, il trasporto di particelle ed il trasporto di fondo richiedono la conoscenza del materiale del letto fluviale (Surian, 1999a).

L'analisi granulometrica si divide in due tipologie, ponderale e numerale. La prima, che risulta maggiormente adatta per dei campionamenti di tipo volumetrico, si effettua mediante una setacciatura al vaglio meccanico e risulta utilizzabile per delle granulometrie non superiori ai 200-250mm. La seconda risulta invece maggiormente adatta per una campionatura dello strato superficiale, dove preponderante è la granulometria grossolana, viene infatti tipicamente effettuata negli ambienti montani (Lenzi, 2022-2023). La dimensione di una particella può essere determinata secondo tre modalità in funzione dei diversi scopi, considerando: (1) la lunghezza dell'asse medio  $b$ , (2) il

diametro nominale e (3) il diametro dato dal setaccio. Per definizione, l'asse a corrisponde all'asse più lungo, mentre l'asse b corrisponde all'asse intermedio più lungo e perpendicolare all'asse a (Bunte et al., 2001).

Nei fiumi che presentano un fondo ghiaioso, la frequenza delle particelle in riferimento alla classe diametrica tende ad assumere una distribuzione logaritmica, la quale risulta statisticamente più difficile da elaborare rispetto ad una distribuzione normale. Per tale motivo è comunemente utilizzata la scala di Wentworth, per la quale ciascuna classe dimensionale viene aumentata di un fattore due quando passa alla classe dimensionale successiva. Le diverse classi dimensionali vengono raggruppate in sei principali categorie (Figura 10): (1) massi, (2) ciottoli, (3) ghiaia, (4) sabbia, (5) limo e (6) argilla (Bunte et al., 2001).

Description of particle size		$\phi = -\log_2$	mm	$\psi = \log_2$
		- 12.0	4096	12.0
	very large	- 11.5	2896	11.5
		- 11.0	2048	11.0
<b>Boulder</b>	large	- 10.5	1448	10.5
	Medium	- 10.0	1024	10.0
		- 9.5	724	9.5
		- 9.0	512	9.0
	small	- 8.5	362	8.5
		- 8.0	256	8.0
<b>Cobble</b>	large	- 7.5	181	7.5
		- 7.0	128	7.0
	Small	- 6.5	90.5	6.5
		- 6.0	64	6.0
	very coarse	- 5.5	45.3	5.5
		- 5.0	32	5.0
	coarse	- 4.5	22.6	4.5
<b>Gravel</b>		- 4.0	16	4.0
	medium	- 3.5	11.3	3.5
		- 3.0	8	3.0
	fine	- 2.5	5.66	2.5
		- 2.0	4	2.0
	very fine	- 1.5	2.83	1.5
		- 1.0	2	1.0
	very coarse	- 0.5	1.41	0.5
		0	1	0
	coarse	+ 0.5	0.707	- 0.5
<b>Sand</b>		+ 1.0	0.500	- 1.0
	medium	+ 1.5	0.354	- 1.5
		+ 2.0	0.250	- 2.0
	fine	+ 2.5	0.177	- 1.5
		+ 3.0	0.125	- 3.0
	very fine	+ 3.5	0.088	- 3.5
		+ 4.0	0.063	- 4.0
<b>Silt</b>				
		+ 8.0	0.0039	- 8.0
<b>Clay</b>				
		+ 12.0	0.00024	- 12.0

Figura 10: classi dimensionali per il sedimento nell'intervallo sabbia-massi (Bunte et al., 2001)

L'analisi statistica prevede la determinazione della frequenza cumulata, determinata sulla base della frequenza assoluta e della frequenza relativa, ed usata per determinare i diversi diametri caratteristici

(Figura 11), usati nel computo dei dati relativi alla distribuzione ed alla caratterizzazione complessiva dei sedimenti (Bunte et al., 2001). Vengono, quindi, determinati i diversi diametri caratteristici, dove ciascuno di questi fa riferimento a quel valore di diametro (in mm) tale per cui tutto il materiale riferito al relativo percentile presenta una dimensione inferiore. Ad esempio, se il diametro caratteristico riferito al 40° percentile presenta un valore di 26mm, ciò significa che l'insieme delle particelle con diametro inferiore a questo sta al di sotto di tale percentile. Ciascun diametro caratteristico viene indicato con il termine “D<sub>x</sub>”, dove la lettera “D” sta ad indicare la dimensione della particella (in mm), mentre la lettera “x” a pedice (sostituita da un numero compreso tra 1 e 100 nel valore reale, nell'esempio sopra riportato con il numero 40) indica la percentuale considerata (Lenzi, 2022-2023).

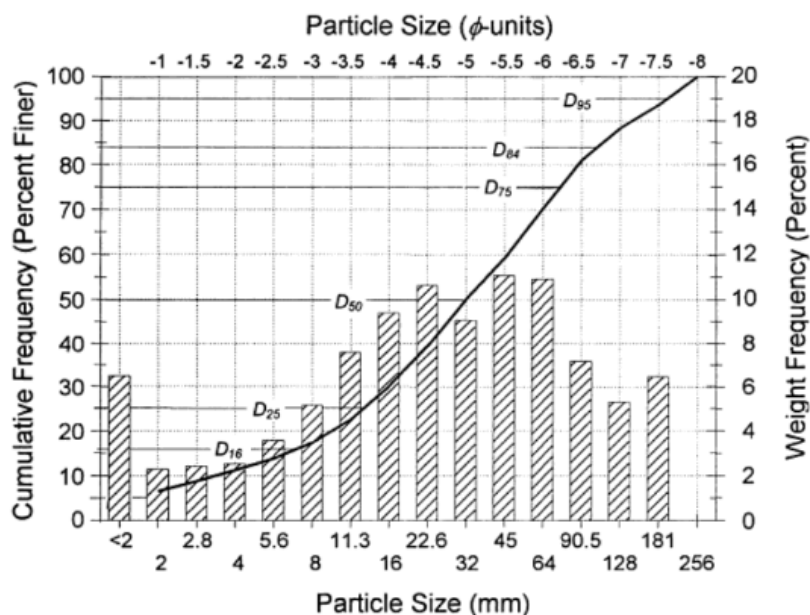


Figura 11: distribuzione delle frequenze (istogramma a barre tratteggiate) e curva della frequenza cumulata (linea spessa) con indicati i valori percentili (Bunte et al., 2001)

Data la natura del Fiume Piave, che è caratterizzato da una morfologia molto dinamica e da diverse forzanti antropiche che hanno indotto delle variazioni sia per il flusso che per il trasporto dei sedimenti, il monitoraggio delle caratteristiche di questi ultimi risulta importante. L'analisi delle variazioni relative alle caratteristiche dei sedimenti nel tempo può fornire delle informazioni inerenti ai processi fluviali, e tali variazioni possono risultare significative nei periodi di tempo brevi (pochi decenni), attribuendo una certa importanza all'analisi della dimensione mediana del sedimento, (Surian, 1999a).

### 1.3. Vegetazione riparia

“La vegetazione riparia è una comunità biotica che si sviluppa in prossimità dei corsi d’acqua (Naiman & Decamps, 1997) e che risulta fortemente influenzata dal regime idrologico tramite il controllo fluviale della deposizione della tavola d’acqua, dei processi di esondazione e dei flussi iporeici (Mitsch & Gosselink, 2000; Jones & Mulholland, 2000). Laddove la vegetazione è sparsa e diradata spesso la causa è da imputare ad un’alta variabilità delle portate. Al contrario, una distribuzione uniforme della vegetazione è sintomo di una maggiore regolarità dei deflussi fluviali (Camporeale, 2006)”. Tale componente biotica è in grado di influenzare la stabilità delle sponde (Van de Wiel and Darby, 2007; Li and Millar, 2011; Picco et al., 2016; Vargas-Luna et al., 2019), di alterare la velocità della corrente (Larsen et al., 2009; Folkard, 2011; Nepf, 2012) e di conseguenza la direzione (Rominger and Nepf, 2011; Zong and Nepf, 2011; Van Dijk et al., 2013), e di ridurre il livello delle piene nei corsi d’acqua più larghi, aumentandone però la durata (Rutherford et al., 2007). La presenza della vegetazione in alveo favorisce il passaggio da una forma a canali intrecciati ad una forma pseudomeandriforme (Tal & Paola, 2007; Tal & Paola, 2010; Comiti et al., 2011), stabilizzando le sponde e inducendo una fase di approfondimento (Picco et al., 2017), e portando quindi alla riduzione del numero di canali per sezione trasversale (Comiti et al., 2011). L’azione antropica esercitata sui corsi d’acqua è in grado di alterare le aree ripariali (Mallik and Richardson, 2009) provocando una riduzione oppure un’espansione di queste (Picco et al., 2014b), alterando talvolta l’equilibrio naturale (Johnson, 1997), elemento che può portare a secoli di correzioni da parte del corso d’acqua (Church, 1995). Lobera et al., (2015) ha dimostrato che la regolazione del corso d’acqua riduce la magnitudo e la frequenza degli eventi di piena e riduce inoltre l’apporto dei sedimenti a valle, ciò ne limita la rimobilitazione, favorendo la colonizzazione delle barre da parte della vegetazione (Sitzia et al., 2016). Nei fiumi alpini altamente regolati, il mantenimento della vegetazione pioniera è infatti limitato dalla riduzione della frequenza degli eventi di piena caratterizzati da una magnitudo rilevante (Kollmann et al., 1999; Müller, 1996). Il sistema fluviale risulta quindi caratterizzato da una certa complessità, esiste una relazione biunivoca tra la morfologia del corso d’acqua e la vegetazione in alveo, le quali subiscono a loro volta gli effetti dettati dalle diverse forzanti antropiche. Nell’ultimo secolo il Fiume Piave ha visto la costruzione di dighe (Figura 12a), la realizzazione di siti estrattivi, di opere per la regolazione dei torrenti (Figura 12b) e fenomeni di riforestazione naturale ed artificiale (Sitzia et al., 2012). Il letto del corso d’acqua ha subito un approfondimento, passando da una forma a canali intrecciati ad una forma pseudomeandriforme o a canale singolo, ciò ha favorito l’instaurarsi di foreste riparie in ampie porzioni (Comiti et al., 2011). McBride et al., (2010) ha identificato le sponde (Pollen-Bankhead and Simon, 2010; Pizzuto et al.,





caratteristiche morfologiche del corso d'acqua (Maser and Sedell, 1994; Bilby and Bisson, 1998), dalle caratteristiche della vegetazione riparia (Abernethy and Rutherford, 2000; Benda et al., 2002; Warren et al., 2009; Picco et al., 2016), e dagli eventi di piena in grado di distruggere quest'ultima (Ulloa et al., 2015). La sua immissione nella rete idrografica dipende dalla mortalità naturale dei popolamenti forestali, dalle caratteristiche delle frane e delle erosioni spondali, e dalle forzanti antropiche (Benda et al., 2002). La deposizione ed il trasporto dipendono dalla grandezza e dalle caratteristiche qualitative del materiale legnoso (MacVicar and Piégay, 2012; Braudrick and Grant, 2001; Gurnell et al., 2002b; Merten et al., 2010) e dalle caratteristiche del reticolo idrografico (Ruiz-Villanueva et al., 2016). Nei grandi fiumi a canali intrecciati, i singoli pezzi di legno si trovano principalmente lungo i margini dei canali, delle isole e delle piane alluvionali, mentre il materiale legnoso più grossolano (*large wood*) è tipicamente trattenuto sulla sommità delle barre ghiaiose (Piégay, 2003). L'interazione tra gli eventi di piena e la vegetazione riparia può portare alla formazione di accumuli di materiale legnoso (Figura 13), che rappresentano una fonte di rischio per le strutture sensibili (Mazzorana et al., 2009; Lucía et al., 2015), per tale motivo, la tradizionale gestione passata prevedeva la rimozione del materiale legnoso e della vegetazione dall'alveo fluviale (Abbe and Montgomery, 2003), pratica questa che presenta un elevato impatto ambientale (Sansoni, 2006).



Figura 13: accumulo di materiale legnoso presso i piloni di un ponte (Lenzi, 2022-2023)

## 2. OBIETTIVI

Il presente lavoro si pone il principale obiettivo di determinare le variazioni morfologiche, granulometriche, vegetazionali e di carico di legname, lungo un tratto del Fiume Piave nel medio periodo, tra il 2016 ed il 2024. Di conseguenza, gli obiettivi specifici del seguente lavoro si suddividono in:

1. **Morfologia:** valutare la variazione altimetrica relativa al centro di ciascuna area di saggio lungo la sezione trasversale, in modo tale da rilevare eventuali zone di deposizione o di erosione del sedimento, e la variazione in numero delle aree di saggio ricadenti all'interno di una data unità morfologica, così da poter valutare le eventuali variazioni nella morfologia del corso d'acqua.
2. **Granulometria:** determinare le variazioni nel valore mediano della distribuzione granulometrica lungo ciascuna sezione, applicando appositi test statistici.
3. **Ricchezza specifica:** applicare appositi test statistici in modo tale da poter rivelare eventuali variazioni del numero medio delle specie lungo le tre sezioni di riferimento. Si è poi valutata la stessa variazione, sempre per ciascun transetto, volgendo però lo studio alle diverse unità morfologiche, e senza l'utilizzo in questo caso di test statistici.
4. **Legname in alveo:** valutare la variazione del carico relativo al materiale legnoso in alveo, sia in termini di quantità, valutando le possibili variazioni avvenute nel numero degli elementi legnosi e della superficie coperta da questi, sia in termini di tipologia di elementi, distinguendo questi in accumuli o elementi singoli.

## 3. AREA DI STUDIO

### 3.1. Inquadramento climatico del Veneto

In Veneto possono essere distinti tre mesoclimi fondamentali (Barbi et al., 2015):

**Mesoclima della pianura:** interessa l'area pianeggiante della regione, compresa tra la fascia litorale e la fascia pedemontana. In questa prevale un certo grado di continentalità, con la presenza di inverni relativamente rigidi ed estati calde, ed una temperatura media annua compresa tra 13 e 14°C. Delle condizioni di tempo anticiclonico possono dare luogo a dei fenomeni a stagionalità spiccata quali foschie, nebbie, gelate, afa ed accumulo di inquinanti in prossimità del suolo. La precipitazione totale annua presenta dei valori compresi tra 800 e 1000mm e risulta uniformemente distribuita durante l'anno (Barbi et al., 2015).

**Mesoclima prealpino:** caratterizza l'area prealpina e le parti più settentrionali della fascia pedemontana. La temperatura media annua risulta pari a circa 12°C, anche se localmente risulta fortemente influenzata dall'altitudine, dalla giacitura e dall'esposizione del suolo. Le precipitazioni sono abbondanti, presentando valori medi intorno a 1200-1500mm annui (con massimi che possono raggiungere i 2000mm) ed un regime pluviometrico di tipo equinoziale, con i massimi in primavera e autunno (Barbi et al., 2015).

**Mesoclima alpino:** interessa la parte centro-settentrionale della provincia di Belluno (Dolomiti), dove la temperatura media annua si attesta tra 7 e 8°C, con i valori medi mensili che scendono sotto lo zero nei mesi invernali, e le temperature localmente influenzate come visto per l'area prealpina. Le precipitazioni sono elevate, ma risultano relativamente inferiori rispetto al settore prealpino ed anche più uniformemente distribuite nel corso dell'anno (Barbi et al., 2015).

Secondo la classificazione termica di Mario Pinna per il Veneto (Figura 14; Figura 15), basata sulla classificazione di Koeppen, il clima temperato sub-continentale è quello che maggiormente rappresenta la regione (comprese le grandi vallate prealpine interne, ad esempio da Feltre a Belluno). La maggior parte dell'areale alpino e prealpino è caratterizzato da un clima temperato fresco o temperato freddo, mentre il clima freddo si riscontra nelle aree alpine culminanti (Barbi et al., 2015).



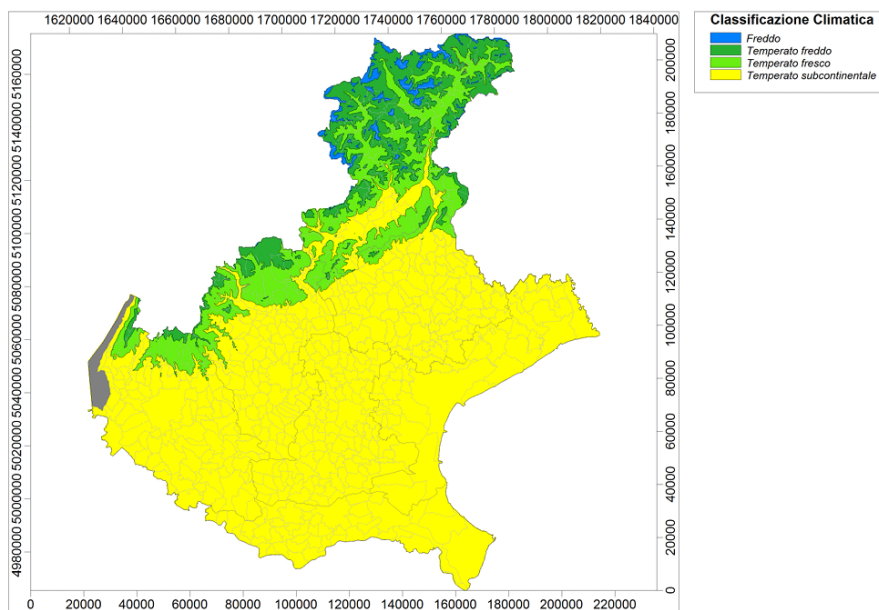


Figura 14: carta dei climi in Veneto di Mario Pinna (Barbi et al., 2015)

Clima	Tipo di Koeppen	Temperatura media annua	Media del mese più freddo	Escursione termica annua (*)	Carattere aggiuntivo
Temperato subcontinentale	C	Fra 10 e 14.4 °C	Fra 0 e 3.9 °C	> 19°C	1-3 mesi con temperatura media > 20°C
Temperato fresco	C	Fra 6 e 9.9 °C	Fra 0 e -3°C	Fra 18 e 20°C	Media del mese più caldo fra 15 e 19.9°C
Temperato freddo	D	Fra 3 e 5.9°C	< -3°C	Fra 16 e 19°C	Media del mese più caldo fra 10 e 14.9°C
Freddo	E	Minore di 3°C	< -6°C	Fra 15 e 18°C	Media del mese più caldo minore di 10°C

Figura 15: classificazione di Mario Pinna dei climi italiani in funzione della temperatura (Barbi et al., 2015)

### 3.2. Il Fiume Piave

Il Fiume Piave è uno dei corsi d'acqua più importanti del nord-est Italia. Scorre per 222km tra il Fiume Brenta ed il Fiume Tagliamento, dalla sorgente nel nord-est delle Dolomiti a circa 2000m s.l.m. fino al Mare Adriatico, dove sfocia a nord di Venezia (Picco et al., 2016; Sitzia et al., 2016). Il corso d'acqua è caratterizzato da una pendenza media di  $0,004\text{mm}^{-1}$  (Ravazzolo et al., 2015), il bacino drenante (Figura 16) è costituito da rocce sedimentarie (prevalentemente calcaree e dolomitiche) e presenta un'area di  $3899\text{km}^2$  (Picco et al., 2016). Il Fiume Piave può essere morfologicamente diviso in tre zone. Il primo tratto che si estende per 62km dalla sorgente fino a Longarone presenta dei canali stretti, rettilinei e incisi nella roccia. Il secondo si estende per 117km da Longarone a Ponte di Piave, e presenta un corso d'acqua più largo, a fondo ghiaioso e con canali intrecciati. Nell'ultimo tratto che si estende per 43km da ponte di Piave alla foce, il fiume scorre in un fondale sabbioso con un

andamento meandriforme, ed è alternato da dei tratti rettilinei confinati da degli argini artificiali (Surian, 1999b). Il grado di disturbo antropico è elevato (Comiti et al., 2011), ciò è dovuto alla costruzione delle dighe idroelettriche, all'irrigazione, alla costruzione di cave, ai lavori di regolazione del corso d'acqua e alle fasi di deforestazione e di riforestazione che hanno influenzato la morfologia fluviale. Durante gli anni '30 e '50 furono costruite delle dighe lungo il reticolo fluviale, riducendo di circa il 54% l'apporto dei sedimenti dal bacino. In seguito, tra gli anni '60 e '80, ci fu un'intensa attività di estrazione del materiale ghiaioso (Sitzia et al., 2012). Come risultato di tutto ciò, il Piave ha subito l'approfondimento e l'incisione del fondale, ed una progressiva variazione della morfologia, passando da una forma a canali intrecciati ad una forma pseudomenadriforme; ciò ha favorito l'espansione della vegetazione riparia lungo il corso d'acqua (Comiti et al., 2011), vegetazione che presenta un complesso modello di distribuzione vegetazionale (Picco et al., 2016; Sitzia et al., 2016; Sitzia et al., 2023). Le analisi di campo sono state condotte nel sito denominato "Limana" (Figura 17), caratterizzato da una morfologia prevalentemente pseudomeandriforme, da un canale attivo con una larghezza media di circa 250m ed una massima di 350m, da una pendenza media di  $0,0048\text{mm}^{-1}$  e dal diametro caratteristico  $D_{50}=0,040\text{m}$ . Lungo il lato sinistro del corso d'acqua è presente un argine (Sitzia et al., 2016; Picco et al., 2016).



Figura 16: inquadramento geografico dell'area di studio (Bondesan et al., 2000)

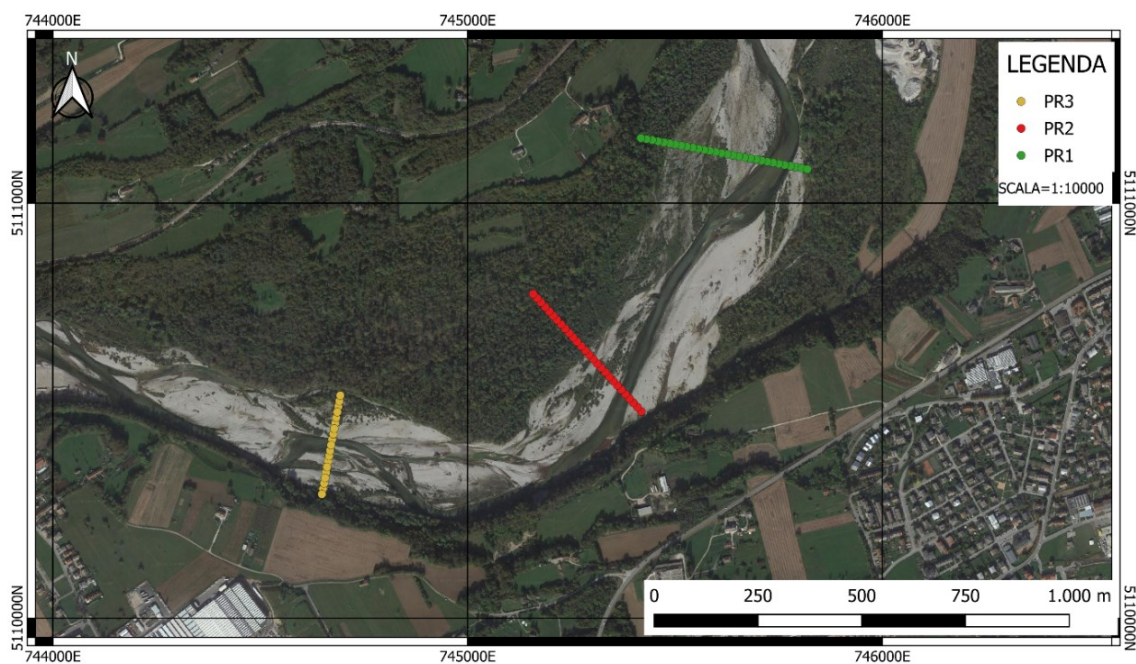


Figura 17: dettaglio delle tre sezioni interessate dallo studio ottenuto da QGIS (scala=1:10000)

### 3.3. Caratterizzazione idrologica

In Figura 18 è rappresentato l'idrogramma relativo al Fiume Piave, il quale riporta da gennaio 2011 a dicembre 2023, la portata media in blu, ed i picchi di piena in arancione. Tra i diversi eventi di piena ne spicca uno in particolare, verificatosi ad ottobre 2018. Tra il 27 ed il 30 ottobre di quell'anno, il nord-est Italia fu interessato da un sistema di bassa pressione (la Tempesta Vaia), il quale ha causato delle forti raffiche di vento e delle precipitazioni intense lungo le Alpi orientali (Chirici et al., 2019). Il picco massimo relativo alla precipitazione cumulata di 72 ore è stato rilevato dall'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) a Soffranco (Longarone, BL), ed ha registrato un valore di 715mm. Le raffiche di vento hanno raggiunto la velocità di circa 200km/h (Lucianetti et al., 2019), colpendo gravemente le zone montane e 42,500ha di superficie boscata (Chirici et al., 2019). La Tempesta Vaia fu caratterizzata da un tempo di ritorno di oltre 100 anni (Pellegrini et al., 2021).

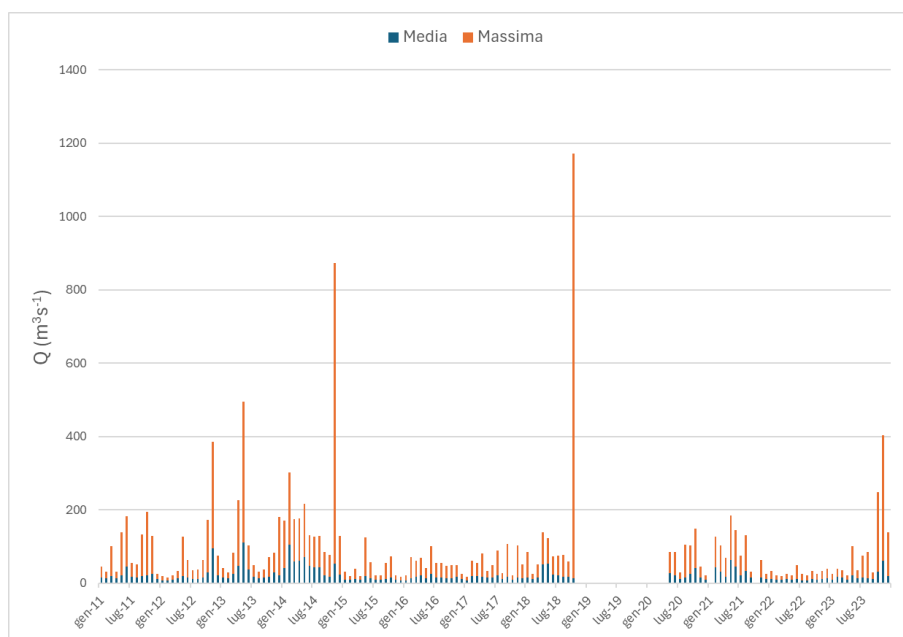


Figura 18: portata media e massima per il Fiume Piave relativa al periodo 2011-2023 (Aeroporto di Belluno, ARPAV)

## 4. MATERIALI E METODI

### 4.1. Attività di campo

Si sono analizzati tre transetti, denominati rispettivamente procedendo da monte a valle “PR1”, “PR2” e “PR3”. Ciascun transetto presenta un numero variabile di aree di saggio (da 30 a 19), ordinate in ordine numerico da sinistra a destra idrografica. Le tre sezioni sono state rilevate nel 2016 mediante uno strumento dGPS differenziale, e presentano una lunghezza che varia dai 400 ai 250m circa. L’ultima area di saggio di ciascun transetto si è determinata in funzione dell’estensione laterale della piana alluvionale, individuata questa in base a parametri topografici, pedologici e litologici (Picco et al., 2016; Ravazzolo et al., 2015). Ciascuna area di saggio ha dimensione di 4X4m e dista dalla successiva 14m. Nelle elaborazioni di seguito riportate viene effettuato un confronto per ciascuna sezione, relativo all’anno 2016 e all’anno 2024, valutando quindi le variazioni verificatesi nei due anni per i diversi dati studiati. Nel presente studio, i dati si sono raccolti sia mediante analisi in campo, sia mediante utilizzo di GIS.

### 4.2. Analisi morfologiche

Per tale studio, si è effettuato un rilievo con drone Matrice 300 RTK dotato di sensore LIDAR, grazie al quale è stato possibile ottenere sia le ortofoto che il modello digitale del terreno delle sezioni d’interesse. Il modello digitale consiste di una superficie virtuale nella quale vengono riportate le coordinate spaziali e la quota per delle celle di 0,10X0,10. Le ortofoto realizzate sono caratterizzate da una risoluzione di 0,015X0,015m per il 2024, mentre per il 2016 si è fatto utilizzo di immagini satellitari con risoluzione pari a 0,2X0,2m. Dal momento in cui non risulta possibile creare un modello digitale per le zone sommerse dall’acqua, è stata effettuata un’ulteriore operazione. Partendo dall’area di saggio più vicina al canale attivo, si è rilevato il profilo trasversale di questo mediante l’utilizzo di due strumenti, un distanziometro laser ed un prisma stabilmente posizionato su di una palina verticale. Il distanziometro emette un impulso laser che viene captato dal prisma posto sulla palina, che quindi lo rimanda allo strumento iniziale e permette di determinare la distanza. L’operatore avente il prisma ad altezza fissa sul supporto, si allontana ad ogni cambio di pendenza significativo dall’operatore con il distanziometro, fino al completo attraversamento del canale attivo (Foresta, 2023). Partendo dai dati ottenuti durante tale attività, sono state effettuate due elaborazioni: (1) la variazione delle sezioni trasversali e (2) la variazione delle unità morfologiche. Per il primo studio, i dati di ciascuna area di saggio relativi alla quota ortometrica e alla distanza dal lato sinistro fluviale,

ottenuti questi dal modello digitale, sono stati inseriti all'interno di un foglio Excel, in modo tale da determinare la distanza e la quota relative al talweg della sezione considerata. Tali dati sono stati inseriti all'interno di un grafico a dispersione con linee curve, in modo tale da ricreare le sezioni trasversali relative a ciascun transetto nei due anni e poterli confrontare. Il secondo studio si è effettuato mediante l'utilizzo del programma ArcGIS Pro, inserendo le ortofoto e le immagini satellitari relative all'area di studio per i due anni analizzati e classificando le diverse unità morfologiche in: (1) piana alluvionale (fp), (2) barra (ba), (3) canale (fc) e (4) isola (is). Questa classificazione è stata effettuata mediante fotointerpretazione, serve quindi considerare i limiti dati dalla diversa risoluzione delle immagini nei diversi anni e dalla soggettività dell'operatore. Come nel caso precedente, i dati sono stati inseriti all'interno di un foglio Excel, creando così dei grafici a barre che descrivono la variazione delle diverse unità morfologiche nei due anni a confronto, in riferimento sempre a ciascuna sezione studiata.

### **4.3. Analisi granulometriche**

Il rilievo dei campioni granulometrici si è effettuato secondo approcci diversi, in funzione del tipo di sedimento in superficie. Per le aree di saggio caratterizzate da sedimenti grossolani in superficie, si è utilizzato il metodo numerale per il rilevamento granulometrico. Si è quindi proceduto a identificare per ciascuna area di saggio il sedimento con diametro massimo, e a raccogliere lungo una cordella metrica i campioni ad una distanza pari al doppio di tale diametro. Il diametro è stato determinato con un calibro (accuratezza $\pm 0,01$ cm), misurando l'asse medio (b). All'interno delle aree di saggio caratterizzate dalla sabbia o dal materiale fine, si è effettuato uno scavo con lo scopo di determinare almeno tre diametri grossolani, facendo sempre riferimento all'asse medio (b) e riportando anche lo spessore dello strato fine. Per ciascuna area di saggio caratterizzata dalla presenza di sedimenti grossolani sono stati rilevati almeno 30 diametri (Foresta, 2023). I diametri rilevati per ciascuna area di saggio sono stati riportati all'interno di un foglio Excel, in modo tale da poter essere analizzati. Nel presente lavoro non sono stati determinati i diversi diametri caratteristici, ma solamente il diametro  $D_{50}$ , che corrisponde alla mediana. È stata calcolata quindi la mediana per ciascuna area di saggio, escludendo quelle con la sola presenza di sedimento fine ( $< 2$ mm). Per ciascuna sezione, le mediane calcolate nei due anni sono state inserite all'interno di un grafico riportante due box plot, uno per ciascun anno. Ciascun box plot restituisce la media, la mediana, il primo ed il terzo quartile, il valore massimo e minimo della distribuzione, e gli eventuali outlier. Alle due distribuzioni di ciascun transetto, si sono applicati una serie di test statistici, in primo luogo per poter valutare alcune assunzioni, infine per rivelare un'eventuale variazione nella media. Si è applicato il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov per determinare la normalità delle distribuzioni, ed il test  $t$  per determinare



se le varianze dei due gruppi studiati fossero simili. Tenuto conto che ogni gruppo presenta una distribuzione normale (da test), e che in alcune aree di saggio non si dispone dei dati di entrambe gli anni, la scelta del test da applicare per determinare se le medie fossero simili è ricaduta su di un test parametrico per gruppi indipendenti. Per cui, nel caso in cui la varianza dei due gruppi studiati fosse stata non simile si è applicato un test t di Welch, mentre in caso contrario si è applicato un Test t a due code per campioni indipendenti. Nell'applicazione dei test si è considerata una soglia di significatività pari a 0,05. Si è infine realizzato un grafico a colonne per descrivere la diversa considerazione che lo studio ha avuto nei confronti delle aree di saggio nei due anni, dividendole in “sedimento grossolano (>2mm)”, “sommerse” e “sedimento fine (<2mm)”. Le elaborazioni si sono effettuate mediante l'utilizzo di Excel, eccetto che per l'applicazione del test di Kolmogorov-Smirnov, per il quale si è fatto utilizzo del sito web *social science statistics* ([socsistatistics.com](http://socsistatistics.com)).

#### **4.4. Analisi vegetazionali**

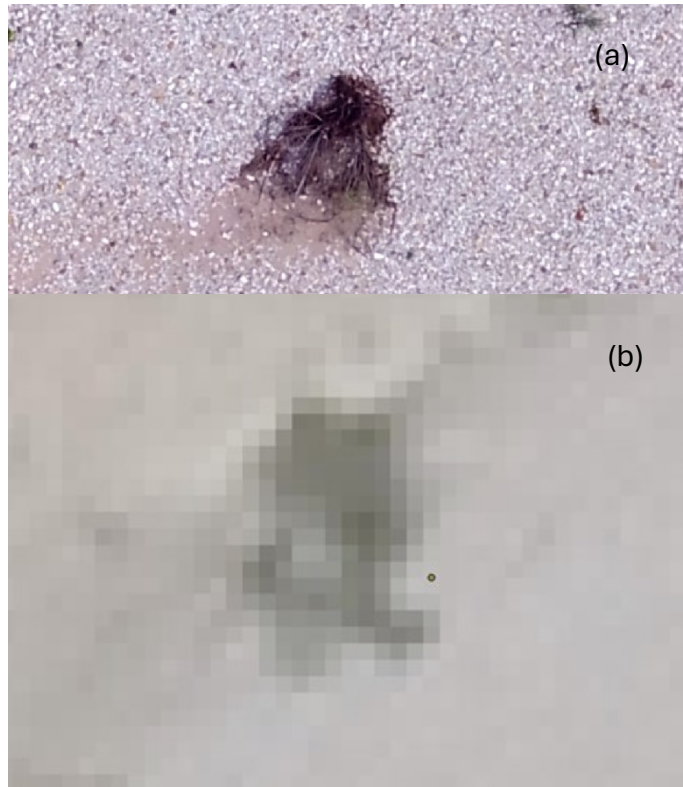
Per ciascuna area di saggio si è effettuato un rilievo di tipo fitosociologico. Sono state registrate le specie presenti, con la relativa copertura. La copertura si è stimata mediante un indice, secondo il quale ad ogni specie viene assegnato un valore numerico in base al numero di individui presenti nell'area di saggio (Foresta, 2023). Si è inserito all'interno di un foglio Excel il dato relativo alla ricchezza specifica di ciascuna area di saggio. Per ciascuna sezione e per ciascuno dei due anni studiati si è creato un grafico a barre riportante il dato descritto in precedenza, e la quota relativa al talweg, in modo tale da valutare come la distribuzione del numero di specie sia variata. Come descritto in precedenza nella sezione dedicata all'analisi granulometrica e con le medesime modalità, si sono creati dei grafici box plot e si sono applicati i medesimi test con lo scopo ultimo di valutare se la media dei gruppi studiati fosse variata. Si è infine creato un grafico con dei box plot per ciascun transetto, riportante gli stessi dati descritti in precedenza, ma non più riferiti in questo caso al dato globale della sezione, bensì alle diverse unità morfologiche.

#### **4.5. Legname in alveo**

Tutti i dati relativi alla caratterizzazione del legname in alveo sono stati ottenuti mediante fotointerpretazione, per cui a differenza delle altre attività, non sono stati effettuati i rilievi in campo. Le ortofoto e le immagini satellitari relative ai due anni oggetto di studio sono state caricate su ArcGIS Pro, quindi per ciascuna sezione si è creato un buffer con una lunghezza pari a quella del transetto ed una larghezza di 4m. Si è effettuata la rilevazione del legname in alveo, distinguendolo negli accumuli (WJ) e negli elementi singoli (LW), considerando in quest'ultimo caso solo gli elementi con una lunghezza >1m e con un diametro >10cm (Iroumé et al., 2010; Tonon et al., 2018). Nei casi in cui un

elemento singolo fosse ricaduto all'interno di un accumulo, l'intera massa legnosa è stata considerata come un accumulo. Nei casi in cui il materiale analizzato fosse uscito dal perimetro del buffer, si è considerata anche la porzione esterna. Per ciascuna sezione e per ciascuno dei due anni si è quindi creato uno shapefile, all'interno del quale si è inserito l'insieme dei poligoni ottenuti ricalcando la sagoma dell'elemento analizzato. Mediante una funzione di ArcGIS Pro si è calcolato il numero degli elementi corrispondenti a ciascuna area di saggio, considerando quindi i 7m precedenti e successivi dal centro dell'area di saggio in riferimento all'asse longitudinale del transetto. Per ciascun elemento si è inoltre determinata sia la superficie, mediante un'analisi condotta con ausilio della tabella attributi, che la tipologia tramite fotointerpretazione (LW oppure WJ), i dati sono stati quindi inseriti all'interno di un foglio Excel. Si è creato un grafico a barre per ciascuna sezione nei due anni, riportante il numero degli elementi legnosi presenti in ciascuna area di saggio, con anche la quota relativa al talweg, in modo tale da valutare eventuali variazioni nella distribuzione spaziale. Si è poi creato un secondo grafico a barre, sempre per ciascun transetto, riportante la variazione in numero degli elementi legnosi, con anche l'indicazione della tipologia del materiale, così da poter valutare come quest'ultima sia variata. Si è infine creato un ultimo grafico a barre riportante la variazione della superficie coperta dal legname in alveo nei due anni per ciascun transetto, per valutare una variazione quantitativa. A differenza delle altre analisi, questa si è basata unicamente sulla fotointerpretazione, risulta quindi necessario considerare i limiti legati a tale tecnica. Serve infatti evidenziare una possibile bassa accuratezza nel riconoscimento del materiale legnoso all'interno dell'alveo, specialmente per le sezioni relative all'anno 2016, per le quali la risoluzione delle ortofoto risulta sensibilmente minore (Figura 19a; Figura 19b).





*Figura 19: ortofoto relativa alla sezione PR2 nell'anno 2024 (a) e nel 2016 (b) ottenuta da ArcGis Pro (scala=1:50)*

## 5. RISULTATI

### 5.1. Analisi morfologica

#### 5.1.1. Sezioni trasversali

Nella prima sezione (Figura 20) è possibile notare la presenza di una leggera zona di scavo nella sinistra, ed una zona di accumulo nella destra. Il talweg ha subito uno spostamento verso la sinistra idrografica di circa 200m, passando nei dintorni di PR1-21 a PR1-5, mentre non si registrano variazioni nella sua quota.

In PR2 (Figura 21) si può notare una zona di accumulo nella destra, ed una zona di scavo nella sinistra. Per la sezione considerata il talweg non ha subito rilevanti variazioni in termini di quota, mentre si è leggermente spostato verso la destra idrografica di circa 50m, dalla zona di PR2-1 a PR2-5.

Nelle zone estreme del terzo transetto (Figura 22) si è verificato un leggero accumulo di materiale, mentre nella zona centrale si è verificato uno scavo. Il talweg si è spostato di circa 50m verso destra idrografica, da vicino a PR3-8 ad esattamente PR3-11 ed ha subito un sensibile approfondimento, la sua quota si è infatti ridotta di circa un metro.

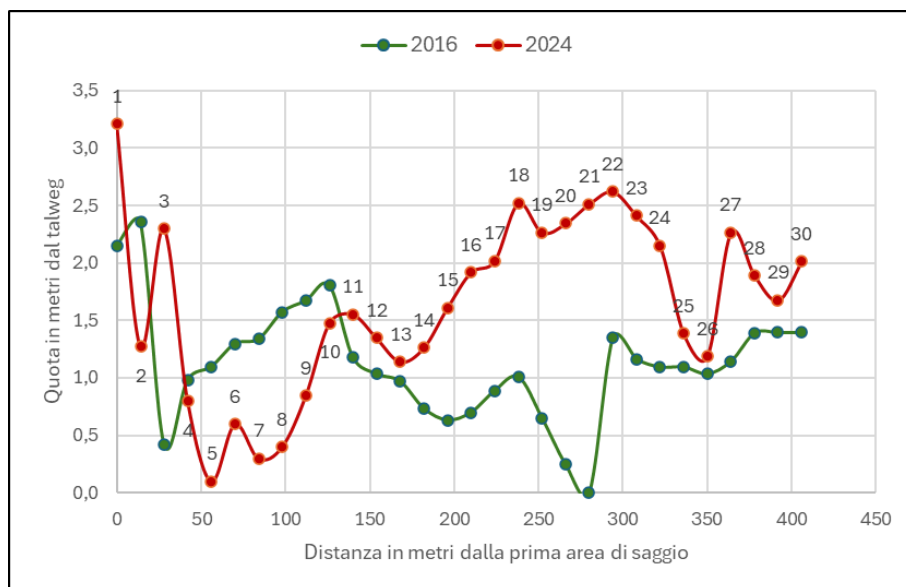


Figura 20: confronto delle sezioni trasversali della sezione PR1 tra il 2016 ed il 2024

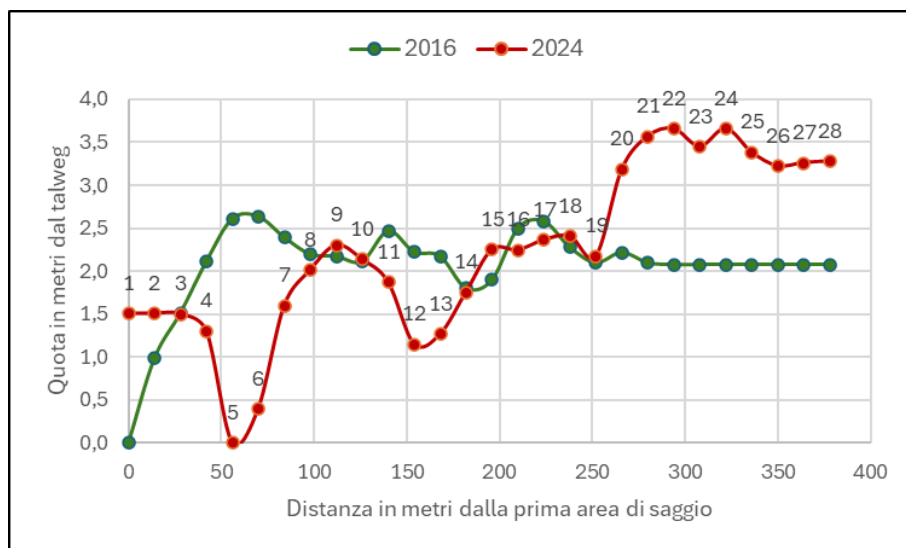


Figura 21: confronto delle sezioni trasversali della sezione PR2 tra il 2016 ed il 2024

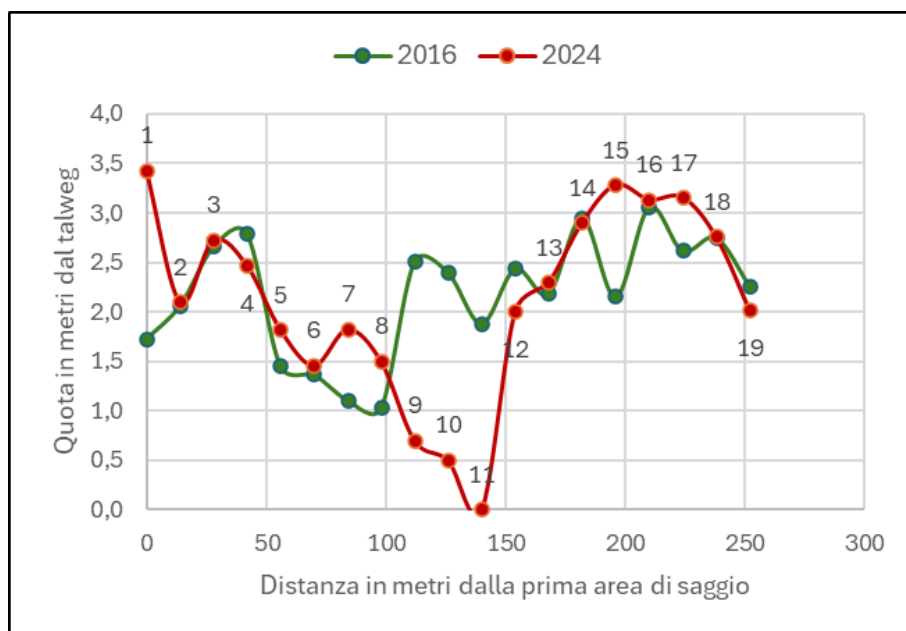


Figura 22: confronto delle sezioni trasversali della sezione PR3 tra il 2016 ed il 2024

### 5.1.2. Unità morfologiche

In PR1 (Figura 23) si è verificata una sensibile riduzione delle zone classificate come piana alluvionale, passando da 12 a 6 aree di saggio, un leggero incremento delle barre e dei canali, che passano rispettivamente da 16 a 17 e da 2 a 4 aree di saggio, e la comparsa di 3 aree di saggio classificate come isole, le quali non sono presenti nel 2016.

Nella sezione PR2 (Figura 24) è possibile notare un leggero incremento per la piana alluvionale ed i canali, che passano rispettivamente da 13 a 14 e da 1 a 2 aree di saggio rilevate, la riduzione delle

barre, che passano da 14 a 9 aree di saggio, e la comparsa di 3 aree di saggio classificate come isole, le quali non sono presenti nel 2016.

In PR3 (Figura 25) le aree di saggio classificate come piana alluvionale sono diminuite, passando da 4 a 1, mentre si è verificato un incremento delle barre e delle isole, che sono passate rispettivamente da 9 a 11 e da 3 a 4 aree di saggio rilevate. Sia nel 2016 che nel 2024 si sono rilevate 3 aree di saggio classificate come isole.

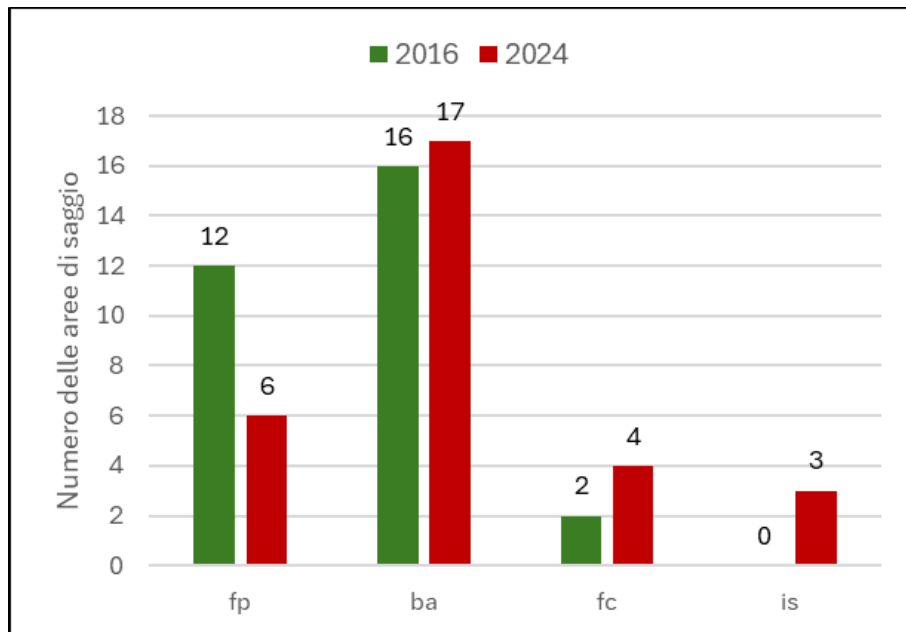


Figura 23: variazione quantitativa delle unità morfologiche nella sezione PR1 tra il 2016 ed il 2024

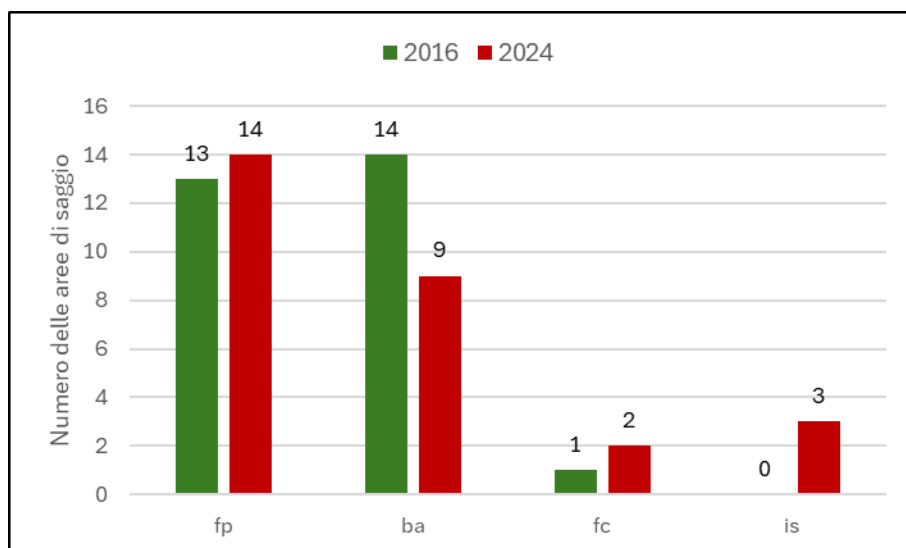


Figura 24: variazione quantitativa delle unità morfologiche nella sezione PR2 tra il 2016 ed il 2024

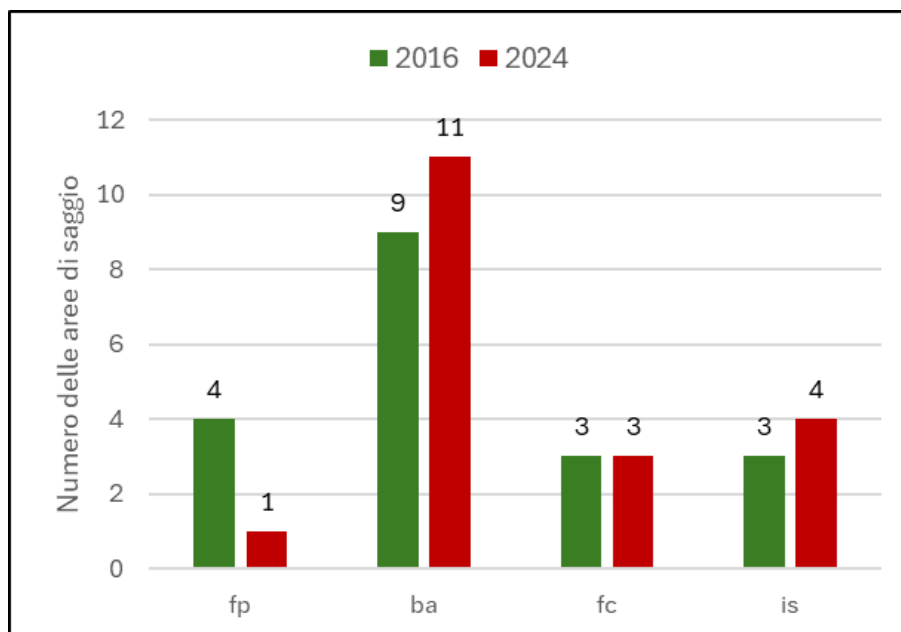


Figura 25: variazione quantitativa delle unità morfologiche nella sezione PR3 tra il 2016 ed il 2024

## 5.2. Analisi granulometrica

Nell'elaborazione dei dati di PR1 del 2016, delle 30 aree di saggio totali non ne sono state considerate 16, delle quali 2 risultano sommerse mentre 14 presentano uno strato di sedimento fine. Nel 2024 si sono considerate 14 aree di saggio, 4 risultano sommerse e 12 presentano uno strato di materiale fine. Dai dati emerge un incremento della media e della mediana riferite al  $D_{50}$ , le quali passano rispettivamente da 12 a 30mm e da 13 a 32mm. Nel 2016 la distribuzione presenta un minimo di 2mm ed un massimo di 21mm, ed uno scarto interquartile di 10mm, mentre nel 2024 la serie presenta un minimo di 29mm ed un massimo di 42mm, ed uno scarto interquartile di 9mm. Nel 2024 sono presenti 3 outlier, del valore di 2, 8 e 57mm (Figura 26).

Si sono condotti per le distribuzioni dei  $D_{50}$  relative ai due anni di studio il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov ed il test  $f$  per verificare le assunzioni del test da applicare con lo scopo di rivelare un eventuale differenza tra le medie dei campioni. Il valore di significatività P del primo test risulta essere 0,860 per il 2016 e 0,274 per il 2024, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che entrambe i campioni presentano una distribuzione normale. Il valore di significatività P del secondo test risulta essere inferiore a 0,05, è possibile quindi rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che i due gruppi non presentano varianze simili. È stato quindi condotto il test t di Welch a due code per valutare se le medie dei due gruppi fossero simili, ed il test ha rivelato una differenza significativa

tra i due gruppi, il valore di significatività P risulta essere inferiore a 0,05, è quindi possibile rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che le medie dei due gruppi non sono simili (Figura 27).

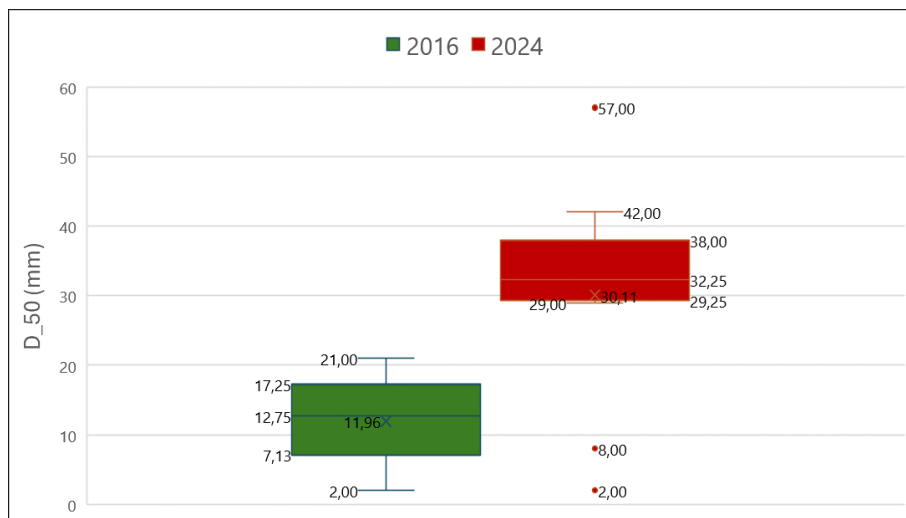


Figura 26: distribuzione dei  $D_{50}$  nella sezione PR1 nel 2016 e nel 2024

PR1	2016	2024
<b>Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov</b>		
N	14	14
P	0,860	0,274
<b>TESTF per la similitudine delle varianze</b>		
Varianza	45,67	219,28
P	0,008012819	
<b>Test t di Welch a due code</b>		
Media	11,96	30,11
P	<b>0,000563329</b>	

Figura 27: risultati del test t di Welch relativi alla granulometria in PR1 per i due anni di studio

Nella sezione PR2, in riferimento al 2016, delle 28 aree di saggio totali non ne sono state considerate 14, delle quali una risulta sommersa, mentre le restanti presentano uno strato di sedimento fine. Nel 2024 si sono considerate 9 aree di saggio, 3 risultano sommerse e 16 presentano uno strato di materiale fine. Dai dati emerge un incremento della media e della mediana in riferimento al  $D_{50}$ , le quali passano rispettivamente da 5 a 37mm e da 4 a 34mm. La distribuzione dei dati relativi al 2016 presenta un minimo di 2mm ed un massimo di 9mm, mentre lo scarto interquartile è di 3mm. Nel 2024 la distribuzione presenta un minimo di 25mm ed un massimo di 44mm, ed uno scarto interquartile di 6mm. Si evidenzia la presenza di un outlier all'interno della distribuzione di ciascuno dei due anni, del valore di 12mm nel 2016, e di 62mm nel 2024 (Figura 28).

Si sono condotti per le distribuzioni dei  $D_{50}$  relative ai due anni di studio il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov ed il testf per verificare le assunzioni del test da applicare con lo scopo di

rivelare un eventuale differenza tra le medie dei campioni. Il valore di significatività P del primo test risulta essere 0,409 per il 2016 e 0,484 per il 2024, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che entrambe i campioni presentano una distribuzione normale. Il valore di significatività P del secondo test risulta essere inferiore a 0,05, è possibile quindi rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che i due gruppi non presentano varianze simili. È stato quindi condotto il test t di Welch a due code per valutare se le medie dei due gruppi fossero simili, ed il test ha rivelato una differenza significativa tra i due gruppi, il valore di significatività P risulta essere inferiore a 0,05, è quindi possibile rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che le medie dei due gruppi non sono simili (Figura 29).

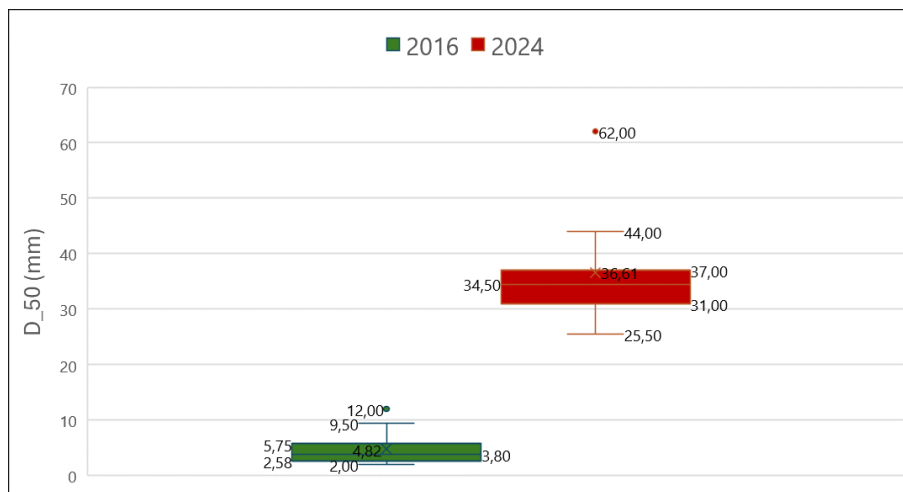


Figura 28: distribuzione dei  $D_{50}$  nella sezione PR2 nel 2016 e nel 2024

PR2	2016	2024
<b>Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov</b>		
N	14	9
P	0,409	0,484
<b>TESTF per la similitudine delle varianze</b>		
Varianza	9,35	123,05
P	0,0000872	
<b>Test t di Welch a due code</b>		
Media	4,82	36,61
P	<b>0,0000174</b>	

Figura 29: risultati del test t di Welch relativi alla granulometria in PR2 per i due anni di studio

La distribuzione dei  $D_{50}$  della sezione PR3 nel 2016 considera 9 aree di saggio delle 19 totali, di queste infatti 3 risultano sommerse e 7 presentano uno strato di materiale fine. Nel 2024 non si sono considerate 3 aree di saggio sommerse e 5 con uno strato di sedimento fine. Si nota un incremento della media e della mediana riferite ai  $D_{50}$ , queste infatti passano rispettivamente da 9 a 33mm e da 8 a 34mm. La distribuzione dei dati relativi al 2016 presenta un minimo di 2mm ed un massimo di

14mm, ed uno scarto interquartile di 4mm. Nel 2024 la serie presenta un minimo di 15mm ed un massimo di 48mm, mentre lo scarto interquartile è 12mm (Figura 30).

Si sono condotti per le distribuzioni dei  $D_{50}$  relative ai due anni di studio il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov ed il testf per verificare le assunzioni del test da applicare con lo scopo di rivelare un eventuale differenza tra le medie dei campioni. Il valore di significatività P del primo test risulta essere 0,919 per il 2016 e 0,900 per il 2024, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che entrambe i campioni presentano una distribuzione normale. Il valore di significatività P del secondo test risulta essere inferiore a 0,05, è possibile quindi rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che i due gruppi non presentano varianze simili. È stato quindi condotto il test t di Welch a due code per valutare se le medie dei due gruppi fossero simili, ed il test ha rivelato una differenza significativa tra i due gruppi, il valore di significatività P risulta essere inferiore a 0,05, è quindi possibile rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che le medie dei due gruppi non sono simili (Figura 31).

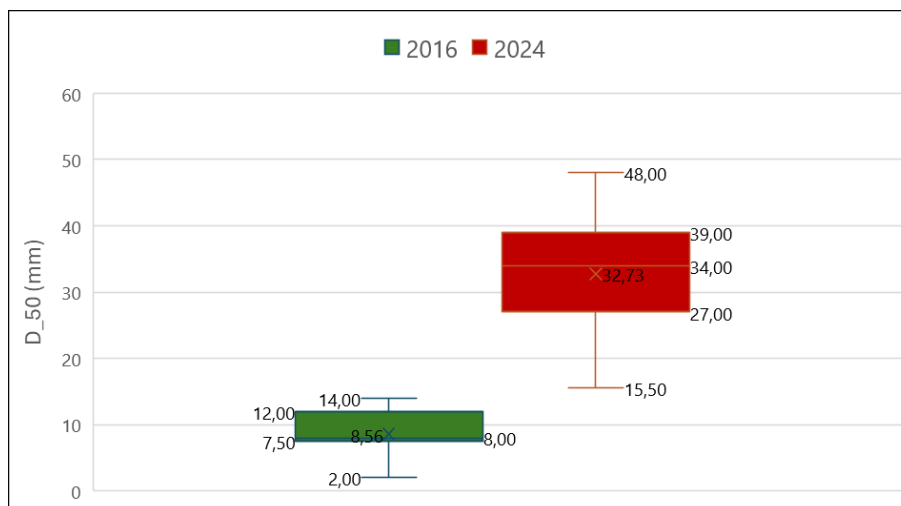


Figura 30: distribuzione dei  $D_{50}$  nella sezione PR3 nel 2016 e nel 2024

PR3	2016	2024
<b>Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov</b>		
N	9	11
P	0,919	0,900
<b>TESTF per la similitudine delle varianze</b>		
Varianza	16,84	114,47
P	0,012131365	
<b>Test t di Welch a due code</b>		
Media	8,56	32,73
P	<b>0,000009344</b>	

Figura 31: risultati del test t di Welch relativi alla granulometria in PR3 per i due anni di studio



In PR1 il numero delle aree di saggio con sedimento grossolano (>2mm) è rimasto invariato tra il 2016 ed il 2024, le aree di saggio sommerse sono aumentate, mentre le aree di saggio caratterizzate dalla presenza di materiale fine (<2mm) sono diminuite. Nella sezione PR2 si è verificata una riduzione delle aree di saggio studiate, ed un incremento di quelle sommerse e con sedimento fine. In PR3 si è verificato un incremento delle aree di saggio con sedimento grossolano ed una riduzione delle aree di saggio con sedimento fine (Figura 32).

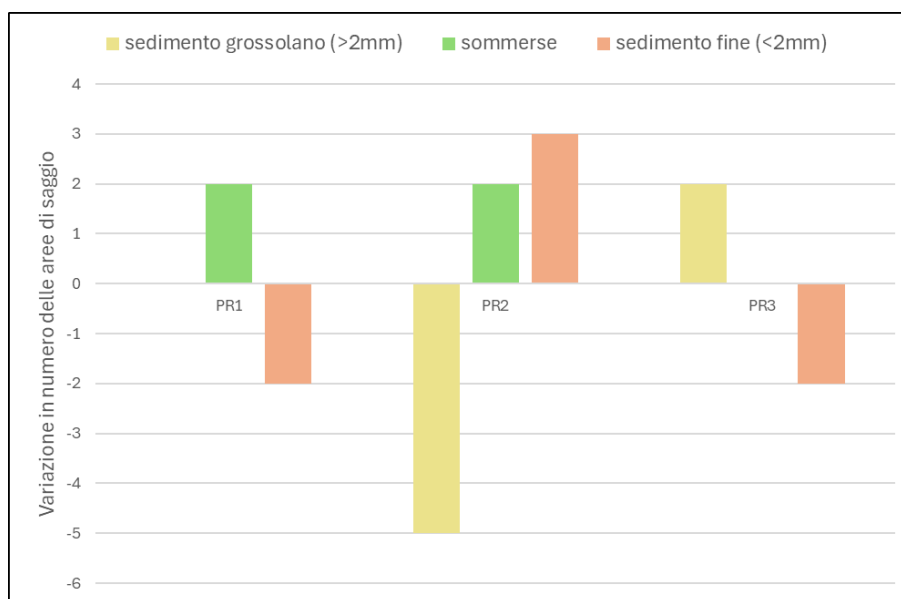


Figura 32: variazione in numero delle aree di saggio interessate o meno dallo studio per ciascuna sezione tra il 2016 ed il 2024

### 5.3. Analisi vegetazionale

#### 5.3.1. Ricchezza specifica lungo ciascuna sezione

In PR1, sia nel 2016 (Figura 33) che nel 2024 (Figura 34) si nota una riduzione del numero di specie nella destra idrografica, riduzione che si nota anche da PR1-11 a PR1-13 nel 2016. La deviazione standard relativa al numero di specie nel 2016 è 10,25, mentre nel 2024 è 6, da ciò emerge come la distribuzione del numero di specie nel 2024 si discosti meno dal valore medio.

Nella sezione PR2 (Figura 35; Figura 36), le aree di saggio con un minor numero di specie risultano essere poste ai margini del talweg. La deviazione standard relativa al numero di specie nel 2016 è 7,18, mentre nel 2024 è 5,26. Il numero di specie per area di saggio nel 2024 si discosta meno dal valore medio.

In PR3 nel 2016 (Figura 37) le aree di saggio con un minor numero di specie risultano essere poste ai margini del talweg, mentre nel 2024 (Figura 38) la distribuzione risulta più omogenea. La

deviazione standard relativa al numero di specie nel 2016 risulta essere 10,76, mentre nel 2024 è 4,94. Nel 2024 il numero di specie per ogni singola area di saggio si discosta meno dal valore medio.

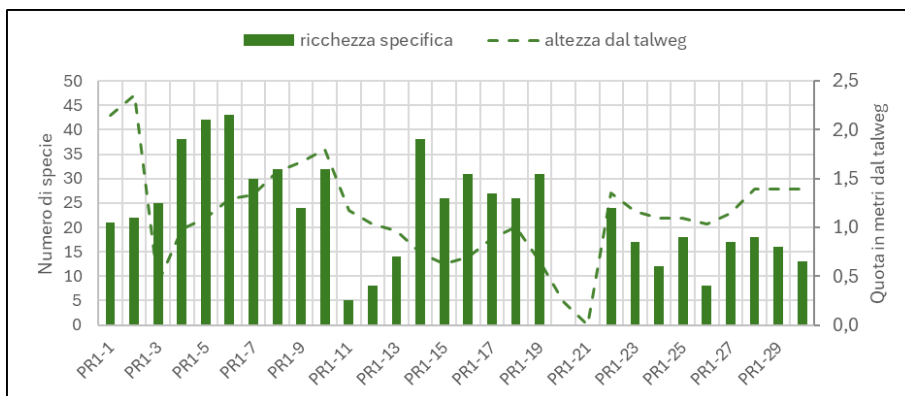


Figura 33: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR1 nel 2016

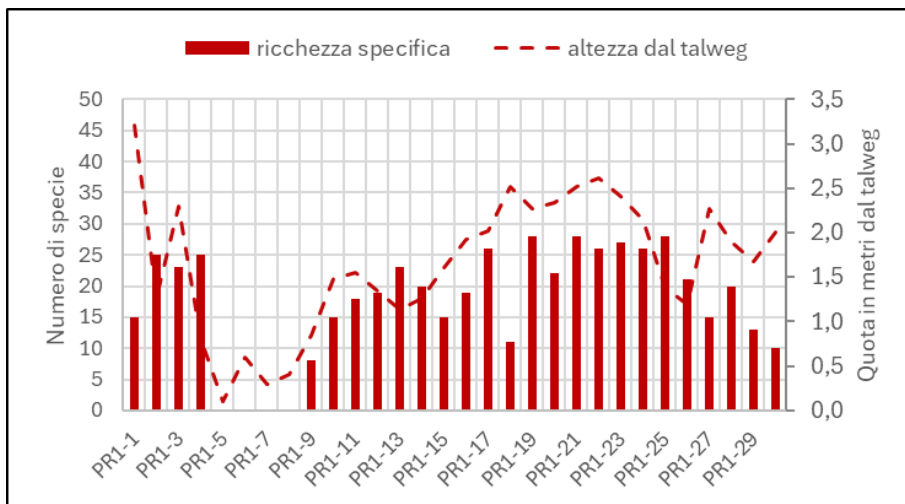


Figura 34: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR1 nel 2024

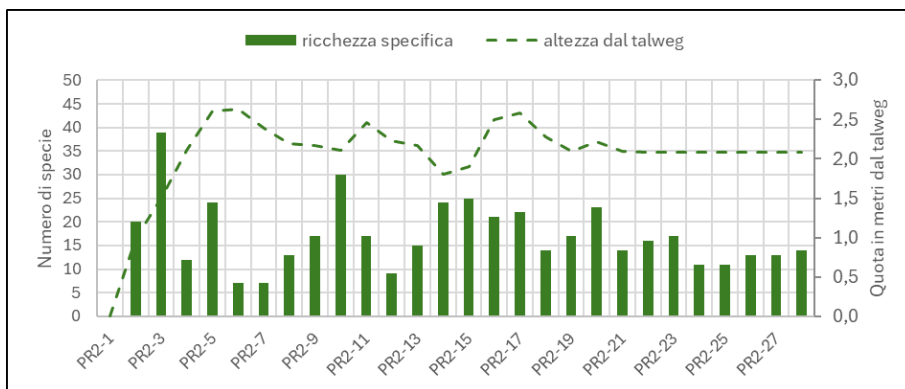


Figura 35: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR2 nel 2016



Figura 36: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR2 nel 2024



Figura 37: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR3 nel 2016



Figura 38: variazione della ricchezza specifica e della quota del fondo in PR3 nel 2024

### 5.3.2. Variazione della ricchezza specifica

Nella sezione PR1, nel 2016 non si sono considerate due aree di saggio sommerse, mentre nel 2024 risultano sommerse 4 aree di saggio. Sia la media che la mediana relative alla distribuzione sono diminuite, passando rispettivamente da 23,5 a 20,23, e da 24 a 20,5. La distribuzione del numero di specie nel 2016 presenta un minimo di 5, un massimo di 43, ed uno scarto interquartile di 14,25. Nel

2024 il numero minimo di specie per area di saggio è 8, il massimo è 28 e lo scarto interquartile è 10,75 (Figura 39).

Si sono condotti, per le distribuzioni della ricchezza specifica relativa ai due anni di studio, il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov ed il testf per verificare le assunzioni del test da applicare con lo scopo di rivelare un eventuale differenza tra le medie dei campioni. Il valore di significatività P del primo test risulta essere 0,913 per il 2016 e 0,661 per il 2024, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che entrambe i campioni presentano una distribuzione normale. Il valore di significatività P del secondo test risulta essere inferiore a 0,05, è possibile quindi rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che i due gruppi non presentano varianze simili. È stato quindi condotto il test t di Welch a due code per valutare se le medie dei due gruppi fossero simili, ed il test non ha rivelato una differenza significativa tra i due gruppi, il valore di significatività P risulta essere 0,156, è quindi possibile accettare l'ipotesi nulla e affermare che le medie dei due gruppi sono simili (Figura 40).

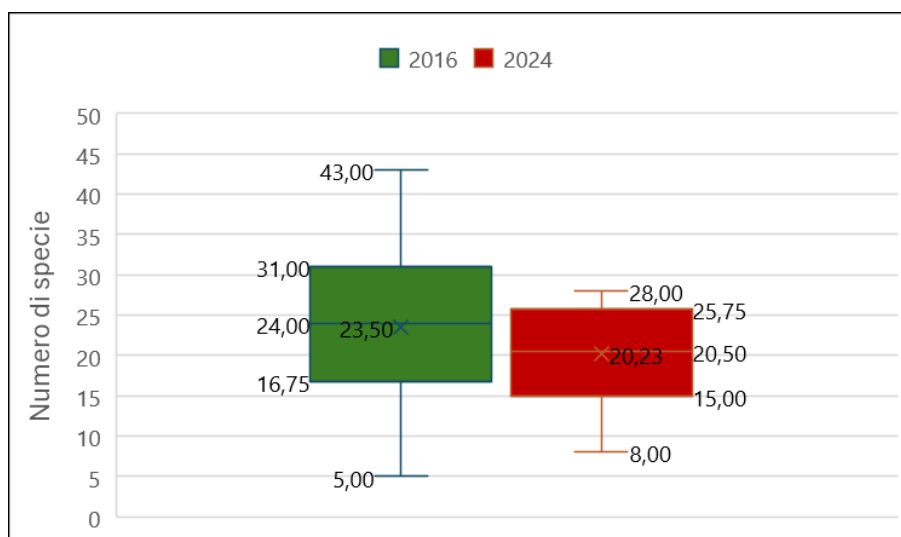


Figura 39: distribuzione del numero di specie in PR1 nel 2016 e nel 2024

PR1	2016	2024
<b>Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov</b>		
N	28	26
P	0,913	0,661
<b>TESTF per la similitudine delle varianze</b>		
Varianza	105,00	36,02
P	0,008856972	
<b>Test t di Welch a due code</b>		
Media	23,50	20,23
P	<b>0,156</b>	

Figura 40: risultati del test t di Welch relativi alla ricchezza specifica in PR1 per i due anni di studio

In PR2 risultano sommerse tre aree di saggio, una nel 2016 e due nel 2024. Dallo studio emerge una riduzione del numero medio delle specie per area di saggio, che passa da 17,22 a 16,62, e della mediana, che passa da 16 a 15,5. Nel 2016 la distribuzione presenta un minimo di 7, un massimo di 30, ed uno scarto interquartile di 8,5. Nel 2024 la serie va da un minimo di 8 ad un massimo di 27, e presenta uno scarto interquartile di 8,5. Si rileva la presenza di un outlier nel 2016, un'area di saggio presenta 39 specie (Figura 41).

Si sono condotti per le distribuzioni della ricchezza specifica relativa ai due anni di studio il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov ed il testf per verificare le assunzioni del test da applicare con lo scopo di rivelare un eventuale differenza tra le medie dei campioni. Il valore di significatività P del primo test risulta essere 0,312 per il 2016 e 0,771 per il 2024, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che entrambe i campioni presentano una distribuzione normale. Il valore di significatività P del secondo test risulta essere 0,124, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che i due gruppi presentano varianze simili. È stato quindi condotto il test t di Student a due code per campioni indipendenti, per valutare se le medie dei due gruppi fossero simili, ed il test non ha rivelato una differenza significativa tra i due gruppi, il valore di significatività P risulta essere 0,728, è quindi possibile accettare l'ipotesi nulla e affermare che le medie dei due gruppi sono simili (Figura 42).

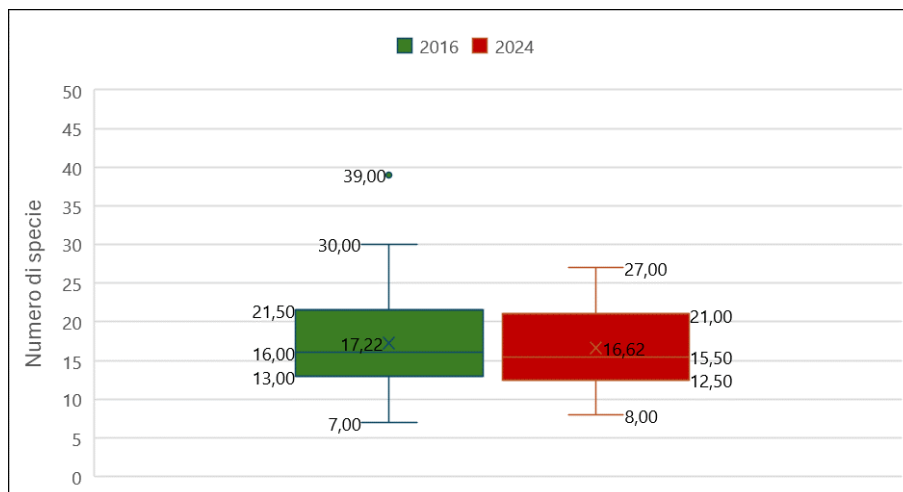


Figura 41: distribuzione del numero di specie in PR2 nel 2016 e nel 2024

PR2	2016	2024
<b>Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov</b>		
N	27	26
P	0,312	0,771
<b>TESTF per la similitudine delle varianze</b>		
Varianza	51,56	27,69
P	0,124	
<b>Test t di Student a due code per gruppi non appaiati</b>		
Media	17,22	16,62
P	<b>0,728</b>	

Figura 42: risultati del test t di Student per gruppi non appaiati relativi alla ricchezza specifica in PR2 per i due anni di studio

Lungo la sezione PR3, sia per l'anno 2016 che per il 2024, 3 aree di saggio risultano sommerse. A differenza di PR1 e PR2, la media e la mediana della distribuzione sono aumentate, passando rispettivamente da 16,88 a 20,63, e da 17,5 a 21. Nel 2016 la distribuzione presenta un minimo di 3, un massimo di 35, ed uno scarto interquartile di 19,25. Nel 2024 il dato minimo è 13, il massimo è 28, e lo scarto interquartile è 7,75 (Figura 43).

Si sono condotti per le distribuzioni della ricchezza specifica relativa ai due anni di studio il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov ed il testf per verificare le assunzioni del test da applicare con lo scopo di rivelare un eventuale differenza tra le medie dei campioni. Il valore di significatività P del primo test risulta essere 0,723 per il 2016 e 0,907 per il 2024, è possibile quindi accettare l'ipotesi nulla e affermare che entrambe i campioni presentano una distribuzione normale. Il valore di significatività P del secondo test risulta essere inferiore a 0,05, è possibile quindi rifiutare l'ipotesi nulla e affermare che i due gruppi non presentano varianze simili. È stato quindi condotto il test t di Welch a due code per valutare se le medie dei due gruppi fossero simili, ed il test non ha rivelato una

differenza significativa tra i due gruppi, il valore di significatività P risulta essere 0,219, è quindi possibile accettare l'ipotesi nulla e affermare che le medie dei due gruppi sono simili (Figura 44).

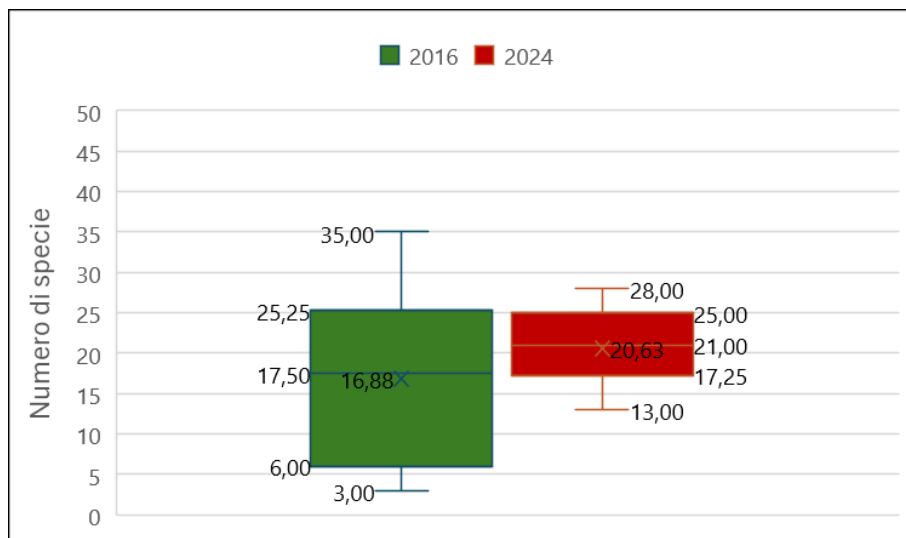


Figura 43: distribuzione del numero di specie in PR3 nel 2016 e nel 2024

PR3	2016	2024
<b>Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov</b>		
N	16	16
P	0,723	0,907
<b>TESTF per la similitudine delle varianze</b>		
Varianza	115,85	24,38
P	0,004544633	
<b>Test t di Welch a due code</b>		
Media	16,88	20,63
P	<b>0,219</b>	

Figura 44: risultati del test t di Welch relativi alla ricchezza specifica in PR3 per i due anni di studio

### 5.3.3. Variazione della ricchezza specifica per forma fluviale

In PR1, si rileva una diminuzione del numero medio di specie per area di saggio sia per la piana alluvionale che per le barre (Figura 45). Dalla sezione PR2 emerge un leggero incremento del numero medio di specie per area di saggio nella piana alluvionale, ed una riduzione dello stesso nelle barre (Figura 46). Nella sezione PR3 il numero medio di specie per area di saggio è aumentato sia per le isole che per le barre, mentre è diminuito per la piana alluvionale (Figura 47).

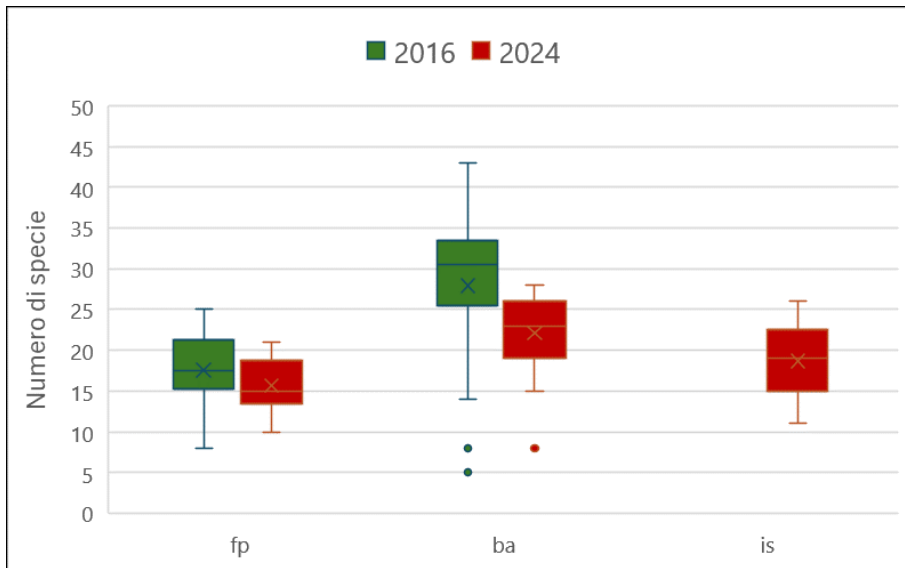


Figura 45: distribuzione del numero di specie per forma fluviale in PR1 nel 2016 e nel 2024

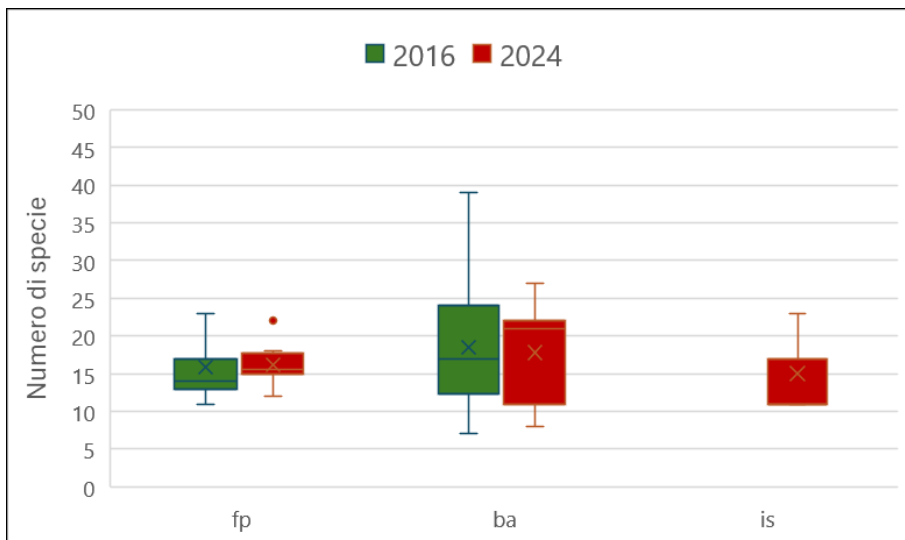


Figura 46: distribuzione del numero di specie per forma fluviale in PR2 nel 2016 e nel 2024

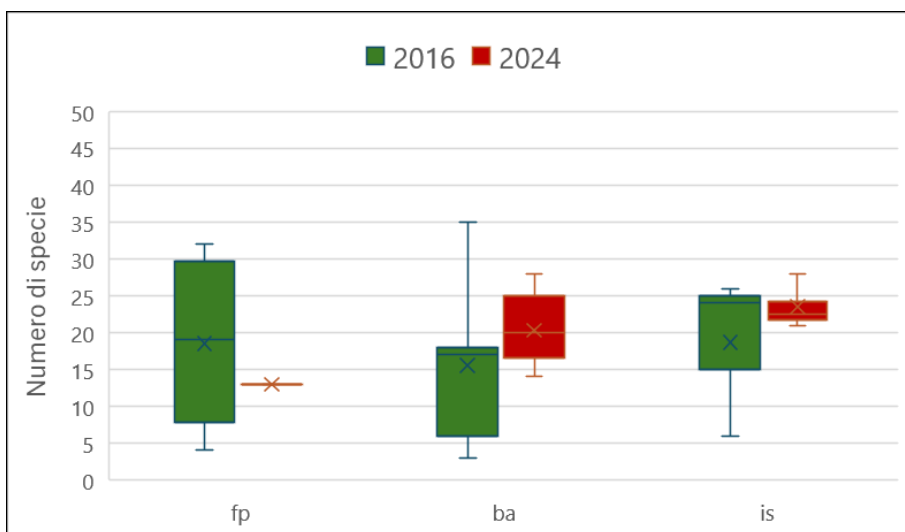


Figura 47: distribuzione del numero di specie per forma fluviale in PR3 nel 2016 e nel 2024 (il dato relativo alla piana alluvionale nel 2024 deriva da una sola area di saggio)



## 5.4. Legname in alveo

### 5.4.1. Distribuzione del materiale legnoso lungo la sezione

Nella sezione PR1 si può notare un incremento del numero degli elementi legnosi nel 2024, ed uno spostamento di questi verso destra. Nel 2016 (Figura 48) il materiale legnoso è concentrato nel margine sinistro del talweg, tra PR1-7 e PR1-15, ad un'altezza compresa tra 1 e 2m rispetto questo. Nel 2024 (Figura 49) il legname è concentrato nella zona sommitale del transetto, tra PR1-15 e PR1-25, ad un'altezza rispetto il talweg compresa tra 1 e 2,5m.

In PR2 il numero di elementi legnosi si è ridotto, mentre la loro posizione si è mantenuta nella sinistra idrografica. Nel 2016 (Figura 50) il legname è concentrato nel talweg e nel suo margine destro, tra PR2-1 e PR2-9, ad un'altezza compresa tra 0 e 2,5m da questo. Nel 2024 (Figura 51) il materiale legnoso è posto tra il margine destro e sinistro del talweg, in PR2-3 e PR2-9, ad un'altezza compresa tra 1,5 e 2m da questo.

In PR3 si rileva la presenza del materiale legnoso solamente nel 2016 (Figura 52; Figura 53), e questo si trova all'interno del talweg e ai suoi margini, tra PR3-3 e PR3-11, ad un'altezza da questo compresa tra 0 e 1,5m.



Figura 48: distribuzione del materiale legnoso lungo PR1 in funzione della quota nel 2016



Figura 49: distribuzione del materiale legnoso lungo PR1 in funzione della quota nel 2024



Figura 50: distribuzione del materiale legnoso lungo PR2 in funzione della quota nel 2016



Figura 51: distribuzione del materiale legnoso lungo PR2 in funzione della quota nel 2024



Figura 52: distribuzione del materiale legnoso lungo PR3 in funzione della quota nel 2016

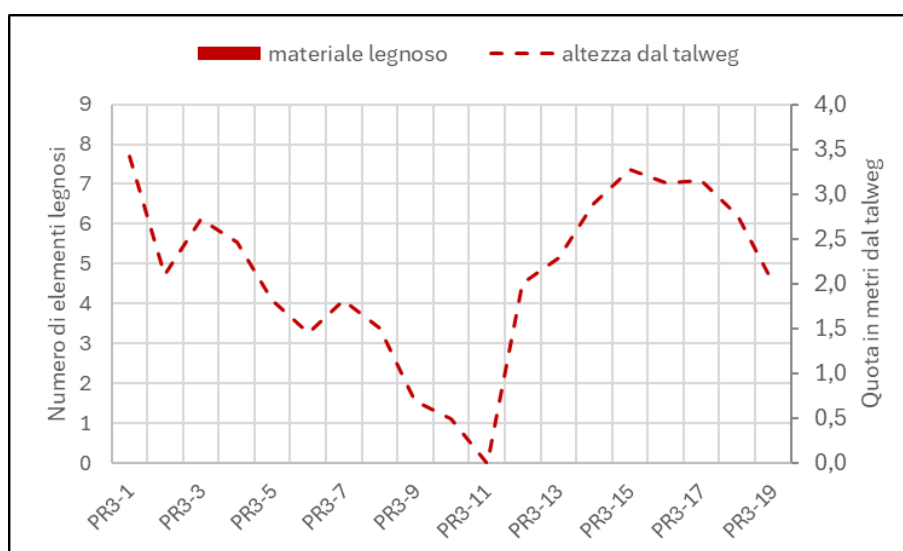


Figura 53: distribuzione del materiale legnoso lungo PR3 in funzione della quota nel 2024

#### 5.4.2. Tipologia di materiale legnoso per sezione

Nella sezione PR1, nel 2016 sono presenti 9 accumuli legnosi ed un elemento singolo, mentre nel 2024 si trovano 13 accumuli e 9 elementi singoli (Figura 54). In PR2 si è verificata una riduzione del legname in alveo sia in termini di accumuli che di elementi singoli, questi sono infatti passati rispettivamente da 5 a 1, e da 2 a 1 (Figura 55). Nella sezione PR3 nel 2016 sono presenti 7 accumuli e nessun elemento singolo, mentre nel 2024 non si rileva la presenza di legname in alveo (Figura 56).

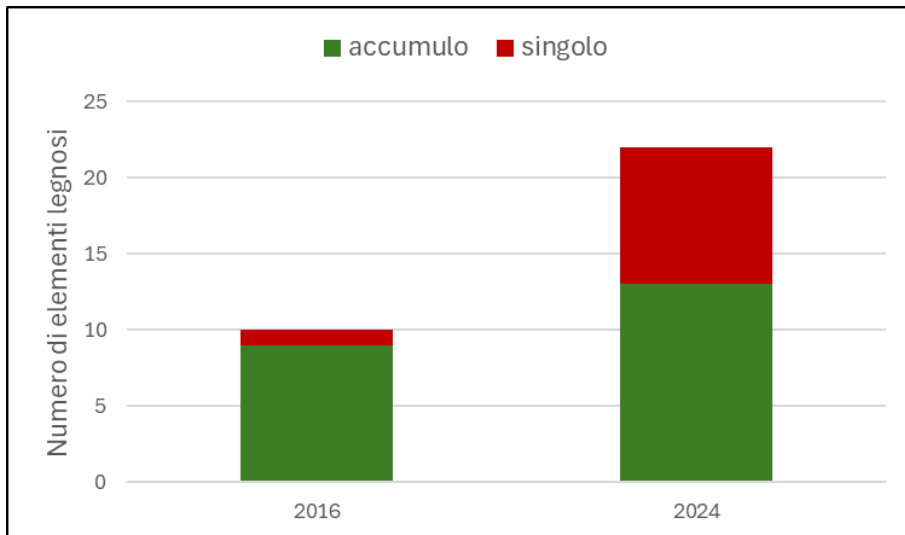


Figura 54: tipologia di materiale legnoso in PR1 nel 2016 e nel 2024

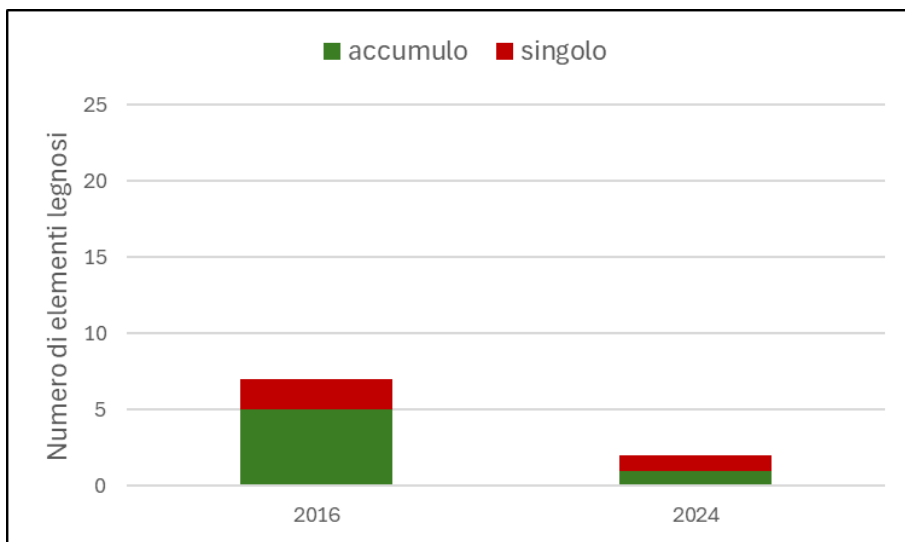


Figura 55: tipologia di materiale legnoso in PR2 nel 2016 e nel 2024

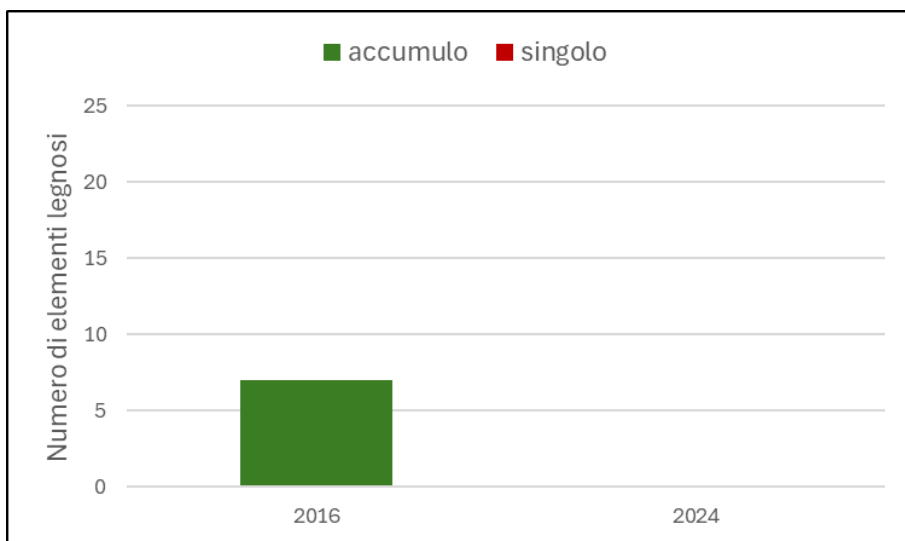


Figura 56: tipologia di materiale legnoso in PR3 nel 2016 e nel 2024

### 5.4.3. Superficie della sezione coperta dal materiale legnoso

La superficie coperta dal materiale legnoso risulta omogeneamente ripartita tra i tre transetti nel 2016, e corrisponde a 53m<sup>2</sup> in PR1, 68m<sup>2</sup> in PR2 e 41m<sup>2</sup> in PR3. Nel 2024, il transetto PR1 presenta un valore elevato di superficie coperta, pari a 102m<sup>2</sup>. In PR2 risultano coperti dal materiale legnoso solamente 4m<sup>2</sup>, mentre in PR3 non si nota la presenza di superficie coperta (Figura 57).

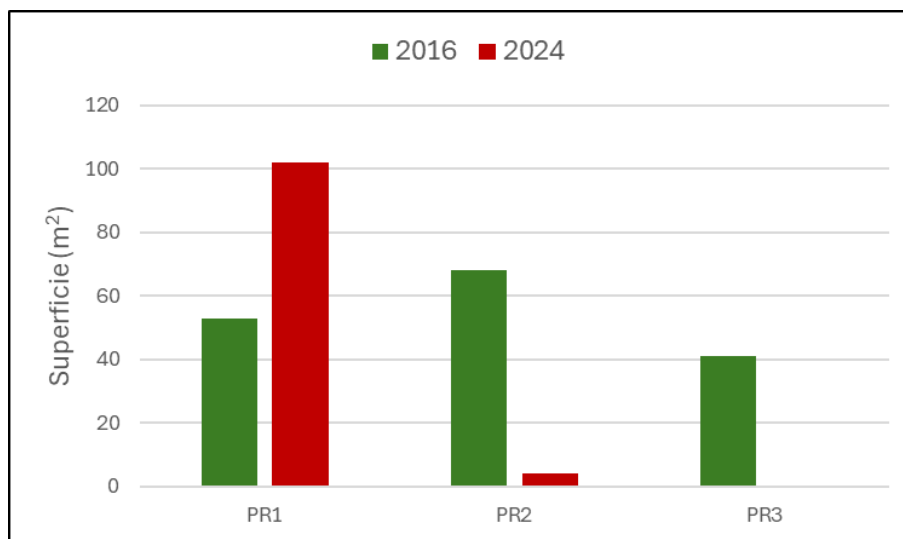


Figura 57: superficie coperta dal materiale legnoso per ciascun transetto nei due anni

## 6. DISCUSSIONI

### 6.1. Analisi morfologica

Precedenti studi (Picco et al., 2016) dimostrano come la piana alluvionale persista maggiormente nel tempo. Nel presente lavoro è emersa una riduzione in numero delle aree di saggio classificate come piana alluvionale nel transetto PR1 ed in PR3. Si ipotizza che la Tempesta Vaia abbia provocato l'erosione di alcune aree, con la conseguente perdita della copertura vegetale. Ciò è dimostrato dalla ricostruzione virtuale delle sezioni trasversali dei transetti, dalla quale emerge un accumulo del sedimento nella destra idrografica in PR1 ed un leggero accumulo dello stesso nella sinistra idrografica in PR3. Si ipotizza che in PR2 non si sia verificata una sensibile variazione in numero delle aree di saggio appartenenti alla piana alluvionale in quanto la copertura vegetale potrebbe risultare più matura, per cui l'impatto dell'evento su quest'ultima potrebbe essere stato contenuto. Picco et al. (2016) dimostra che in fiumi mediamente disturbati, quali il Piave, la formazione delle isole avviene prevalentemente per costruzione, processo nel quale si viene a creare un'isola attorno al materiale legnoso che giace in alveo, come precedentemente descritto (Montgomery et al., 1995, 2003; Abbe and Montgomery, 1996; Piégay and Gurnell, 1997; Brooks et al., 2003; O'Connor et al., 2003). Potrebbe essere questo il caso di PR1 e PR2, l'apporto di materiale legnoso in alveo verificatosi con l'evento di piena del 2018 potrebbe avere favorito tale processo, portando quindi ad un incremento delle isole. Da fotointerpretazione emerge che l'incremento in numero delle aree di saggio classificate come canale in PR1 ed in PR2 è dato rispettivamente dall'incremento della larghezza del canale principale per il primo transetto, e dal suo spostamento verso la destra idrografica per il secondo.

### 6.2. Analisi granulometrica

Dall'analisi granulometrica emerge come le zone caratterizzate dalla presenza di uno strato di sedimento fine presentino una copertura vegetale più matura, in linea con quanto dimostrato da Picco et al. (2016). Le aree di saggio caratterizzate da uno strato di sedimento fine ricadono infatti in corrispondenza delle isole o della piana alluvionale. Un altro elemento a favore di ciò può essere dato dalla relazione che esiste tra la variazione delle isole e della piana alluvionale per transetto, e la variazione delle aree di saggio caratterizzate da sedimento fine descritta in Figura 32. Ad un incremento o ad una riduzione delle prime, corrisponde una variazione delle seconde nello stesso verso. In ciascuno dei tre transetti è emerso un incremento del valore medio relativo al  $D_{50}$  delle aree

di saggio studiate. Nel lavoro di Foresta (2023), per il sito di Belluno non si è riscontrata una variazione significativa del dato, effettuando però un confronto tra il 2010 ed il 2023. Risulta possibile che, in riferimento al 2016 e al 2024, l'evento di piena del 2018 abbia portato ad un incremento del dato considerato.

### **6.3. Analisi vegetazionale**

Picco et al. (2016) dimostra che nel fiume Piave, a differenza di altri studi (Osterkamp and Hupp, 1984; Hupp and Osterkamp, 1996; Tabacchi et al., 1998; Bendix and Hupp, 2000; Gurnell and Petts, 2002a; Gilvear et al., 2008), la distribuzione della vegetazione lungo la sezione longitudinale presenta un modello complesso, senza una data relazione tra l'elevazione e le comunità vegetali. Premettendo che il presente studio non ha interessato la vegetazione, bensì la ricchezza specifica, non sembra comunque esistere una chiara relazione che legghi la quota relativa al talweg e la distribuzione del numero di specie, tale risultato è quindi in linea con quanto riportato in precedenza. Si ipotizza inoltre che il numero di specie nel 2024 risulti distribuito più uniformemente rispetto al 2016, per ciascuna area di saggio tale dato si discosta meno dal valore medio. Ciò potrebbe essere dovuto ad una maggiore regolarità dei deflussi fluviali (Camporeale, 2006). In merito al valore medio relativo alla ricchezza specifica di ciascun transetto, non si è rilevata una differenza significativa tra i due anni.

### **6.4. Legname in alveo**

Secondo quanto riportato da Piégay (2003), il materiale legnoso più grossolano dovrebbe trovarsi sulla sommità delle barre ghiaiose. Dallo studio sembrerebbe emergere una tendenza simile, nel 2016 in ciascuno dei tre transetti il legname in alveo si trova anche all'interno del canale bagnato ed in sua prossimità, e questo risulta infatti costituito da un minor quantitativo di elementi singoli. Al contrario, nel 2024, il materiale legnoso si trova più spostato rispetto al canale, ed infatti questo risulta composto maggiormente da elementi singoli, anche se è necessario evidenziare che le sezioni PR2 e PR3 presentano un quantitativo di legname inferiore o nullo rispetto al 2016. Come precedentemente anticipato, è possibile che l'incremento del materiale legnoso in PR1 abbia favorito la formazione di unità morfologiche vegetate quali le isole. Ravazzolo et al. (2015) riporta che in fiumi regolati come il Piave, il reclutamento del materiale legnoso viene limitato in presenza di condizioni di flusso modesto. Ciò farebbe sì che il legname in alveo venga trasportato solamente in concomitanza di eventi di piena con elevate intensità; pertanto, il materiale legnoso si troverebbe solamente in barre alte ed isole, ed in uno stato degradato. Ciò potrebbe spiegare la riduzione del legname in alveo riscontrata nel 2024 in PR2 ed in PR3. Nel lavoro precedentemente citato, viene inoltre riportato che al 2015 il quantitativo di legname risulta elevato, elemento questo dovuto al susseguirsi di tre eventi di piena

nel 2008, 2009 e 2010, ciascuno della portata di 423, 619 e 499m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Oltre a ciò, la stazione dell'ARPAV riporta che nella seconda metà del 2014 si verificò un ulteriore evento di piena della portata di 819m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Sempre in riferimento ai dati ottenuti dall'agenzia veneta, dopo la Tempesta Vaia non risultano eventi di piena rilevanti, ed un ulteriore prova di ciò potrebbe essere data dalla maggiore uniformità nella distribuzione del numero di specie precedentemente descritta. Si ipotizza quindi che una riduzione in numero degli eventi di piena abbia portato ad una riduzione del materiale legnoso in alveo. Risulta necessario evidenziare il fatto che l'incertezza della fotointerpretazione potrebbe aver influito in un certo modo sui risultati, in particolare per la bassa risoluzione delle immagini del 2016 e la soggettività dell'operatore.



## 7. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati ottenuti, le conclusioni principali riguardo alle dinamiche e alle modificazioni osservate lungo il tratto del Fiume Piave sono le seguenti. In due transetti analizzati dei tre totali, si è registrata una riduzione in numero delle aree di saggio classificate come piana alluvionale, in contrasto con quanto riportato da precedenti lavori. Questa riduzione potrebbe essere dovuta ad un evento di piena rilevante verificatosi nel 2018, il quale avrebbe inoltre depositato un grande quantitativo di legname in alveo, favorendo quindi la formazione di isole. Lo stesso evento potrebbe aver indotto una variazione nella dimensione mediana del sedimento ( $D_{50}$ ). In ciascuna delle tre sezioni analizzate, infatti, il valore del 2024 ha registrato un netto incremento del valore di  $D_{50}$  rispetto al 2016. Per quanto riguarda la vegetazione, in linea con quanto riportato in precedenti lavori, la componente vegetazionale sembra seguire un modello di distribuzione complesso, senza essere direttamente legata alla quota rispetto al talweg. Inoltre, non si è rilevata una variazione nella ricchezza specifica tra il 2016 e il 2024, mentre nel 2024 il numero di specie sembra essere distribuito più uniformemente all'interno di ciascuna sezione. In due delle tre sezioni analizzate si è riscontrata una diminuzione del materiale legnoso in alveo, presumibilmente a causa delle condizioni di flusso modeste, poiché dopo il 2018 non si sono registrati eventi di piena degni di nota. La distribuzione spaziale del legname in alveo sembra seguire quanto riportato in precedenti studi, negli anni in cui questo è composto da pochi elementi singoli risulta essere disposto nei pressi dei canali, mentre la sua distanza da questi aumenta quando il numero di elementi singoli è maggiore. Inoltre, il quantitativo del legname in alveo sembra diminuito in seguito ad un lasso di tempo caratterizzato da condizioni di flusso modeste, questo dato è in linea con studi relativi ai corsi d'acqua regolati come il Piave. I risultati riportati in precedenza corrispondono con quanto dimostrato in altri lavori relativi a corsi d'acqua mediamente disturbati; tuttavia, la persistenza delle aree di saggio classificate come piana alluvionale risulta inferiore rispetto a quella riportata in tali studi. In conclusione, il Fiume Piave, come molti altri corsi d'acqua, è stato soggetto a numerose modificazioni causate dall'intervento umano. Di conseguenza, è fondamentale approfondire la nostra conoscenza sui sistemi fluviali, poiché in futuro potrebbero verificarsi ulteriori cambiamenti, soprattutto climatici. Un aumento di fenomeni estremi potrebbe diventare più frequente, come forse dimostrato dalla Tempesta Vaia.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Abbe, T.B., Montgomery, D.R., 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics, and habitat formation in large rivers. *Regul. Rivers Res. Manag.* 12, 201–221.
- Abbe, T.B., Montgomery, D.R., 2003. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washington. *Geomorphology* 51, 81–107.
- Abernethy, B., Rutherford, I., 2000. Does the weight of riparian trees destabilize riverbanks? *Regul. Rivers Res. Manag.* 16, 565–576.
- Barbi, A., Cola, G., Mariani, L., 2015, Inquadramento climatico del Veneto, Centro meteorologico di Teolo (PD) ARPAV, Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio, Dipartimento Produzioni Vegetali, Sezione Agronomia, Facoltà di Agraria Università degli Studi di Milano.
- Benda, L.E., Bigelow, P., Worsley, T.M., 2002. Recruitment of wood to streams in oldgrowth and second-growth redwood forests, northern California, USA. *Can. J. For. Res.* 32 (8), 1460–1477.
- Bendix J, Hupp CR. 2000. Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. *Geomorphology* 14: 2977–2990.
- Bertoldi, W., Zanoni, L., Tubino, M., 2009. Planform dynamics of braided streams. *Earth Surf. Process. Landf.* 34, 547–557.
- Bilby, R.E., Bisson, P.A., 1998. Function and distribution of large woody debris. In: Naiman, R.J., Bilby, R.E. (Eds.), *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, New York, pp. 324–346.
- Billi, P., 1994, *Morfologia dei corsi d'acqua*. Verde Ambiente, n.5, 61-70.
- Billi, P., 1995, *Dinamica fluviale e antropizzazione*. ACER, 1, 71-75.
- Bondesan, A., Caniato, G., Vallerani F., Zanetti, M., 2000, *Il Piave*.
- Braudrick, C.A., Grant, G.E., 2001. Transport and deposition of large woody debris in streams: a flume experiment. *Geomorphology* 41 (4), 263–283. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00058-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00058-7).
- Brierley, G., Fryirs, K., 2005. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Victoria, Australia (398 pp.).
- Brooks, A.P., Brierly, G.J., Millar, R.G., 2003. The long-term control of vegetation and woody debris on channel and floodplain evolution: insights from a paired catchment study in southeastern Australia. *Geomorphology* 51, 7–29.
- Bunte, K., Abt, S. R., 2001, *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel-and Cobble-bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring*, U.S.D.A. United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GRT-74, 16-41.
- Camporeale, C., 2006, *Ruolo della variazione delle portate sulla dinamica della vegetazione riparia*, XXX° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 1-IDRA.
- Chirici, G., Giannetti, F., Travaglini, D., Nocentini, S., Francini, S., D'Amico, G., Calvo, E., Fasolini, D., Broll, M., Maistrelli, F., Tonner, J., Pietrogiovanna, M., Oberlechner, K., Andriolo, A., Comino, R., Faidiga, A., Pasutto, I., Carraro, G., Zen, S., Contarin, F., Alfonsi, L., Wolynski, A., Zanin, M., Gagliano, C., Tonolli, S., Zoanetti, R., Tonetti, R., Cavalli, R., Lingua, E., Pirotti, F., Grigolato, S., Bellingeri, D., Zini, E., Gianelle, D., G. Pellegrini, L. Martini, M. Cavalli et al. *Science of the Total Environment* 770 (2021) 14520910 Dalponte, M., Pompei, E., Stefani, A., Motta, R., Morresi, D., Garbarino, M., Alberti, G., Valdevit, F., Tomelleri, E., Torresani, M., Tonon, G., Marchi, M., Corona, P., Marchetti, M., 2019. Stima dei danni della tempesta “Vaia” alle foreste in Italia. *Forest@* 16, 3–9. <https://doi.org/10.3832/efor3070-016>.

- Church M. Geomorphic response to river flow regulation: Case studies and time- scales. *Regul Rivers: Res Manag* 1995;11(1):3–22. <http://dx.doi.org/10.1002/rrr.3450110103>.
- Comiti, F., Da Canal, M., Surian, N., Mao, L., Picco, L., Lenzi, M.A., 2011. Channel adjustments and vegetation cover dynamics in a large gravel bed river over the last 200 years. *Geomorphology* 125 (1), 147–159.
- Folkard, A., 2011. Flow regimes in gaps within stands of flexible vegetation: laboratory flume simulations. *Environ. Fluid Mech.* 11, 289–306.
- Foresta, G., 2023, Studio della morfologia e vegetazione ripariale del Fiume Piave, Università degli Studi di Padova, Corso di Laurea Triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali, Relatore Prof. L., Picco, Correlatore Dott. G., Pellegrini.
- Gilvear D, Francis R, Willby N, Gurnell A. 2008. Gravel bars: a key habitat of gravel-bed rivers for vegetation. In *Gravel-bed Rivers VI from Process Understanding to River Restoration*, Habersack H, Piégay H, Rinaldi M (eds). Elsevier: Amsterdam; 677–700.
- Gurnell, A.M., Petts, G.E., Hannah, D.M., Smith, B.P.G., Edwards, P.J., Kollmann, J., Ward, J.V., Tockner, K., 2001. Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surf. Process. Landf.* 26, 31–62.
- Gurnell, A.M., Petts, G.E., 2002a. Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshw. Biol.* 47, 581–600.
- Gurnell, A.M., Piégay, H., Swanson, F.J., Gregory, S.V., 2002b. Large wood and fluvial processes. *Freshw. Biol.* 47 (4), 601–619. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00916>.
- Harmon, M. E., Franklin, F. J., Swanson, P., Sollins, S. V., Gregory, J. D., Lattin, N. H., Anderson, S. P., Cline, N. G., Aumen et al., (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15, 133-302.
- Hupp, C.R., Osterkamp, W.R., 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14, 277–295.
- Iroumé, A., Andreoli, A., Comiti, F., Ulloa, H., Huber, A., 2010. Large wood abundance, distribution and mobilization in a third order coastal mountain range river system, southern Chile. *Forest Ecology and Management* 260, 480-490.
- Johnson WC. Equilibrium response of riparian vegetation to flow regulation in the Platte River, Nebraska. *Regul Rivers: Res Manag* 1997; 13 (5): 403-15.
- Jones, J. B., Mulholland, P. J., 2000, “Streams and Ground Waters”, Academic Press, San Diego.
- Kollmann J, Vieli M, Edwards PJ, Tockner K, Ward JV. Interactions between vegetation development and island formation in the Alpine river Tagliamento. *Appl Veg Sci* 1999;2:25–36. <http://dx.doi.org/10.2307/1478878>.
- Larsen, L., Harvey, J., Crimaldi, J., 2009. Predicting bed shear stress and its role in sediment dynamics and restoration potential of the Everglades and other vegetated flow systems. *Ecol. Eng.* 35, 1773–1785.
- Lenzi, M. A., D’Agostino, V., Sonda, D., 2000, Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti, criteri metodologici ed esecutivi, prima edizione, 15-28.
- Lenzi M.A., 2011. Appunti e slide delle lezioni del corso di laurea triennale in “Tutela del paesaggio agricolo-forestale e riassetto idraulico del territorio”. Università di Padova.
- Lenzi, M.A., 2022-2023, Correzione dei torrenti, Granulometria dei sedimenti, Appunti di lezione, Corso di laurea in tecnologie forestali e ambientali, Idrologia e sistemazioni idraulico forestali.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. In: U.S. Geological Survey Professional Papers, 282B, pp. 39–85.

- Li, S.S., Millar, R.G., 2011. A two-dimensional morphodynamic model of gravel-bed river with floodplain vegetation. *Earth Surf. Process. Landf.* 36 (2), 190–202.
- Lobera, G.P.B., Vericat, D., Lopez-Tarazon, J.A., Tena, A., Aristi, I., Diez, J.R., Ibisate, A., Larrañaga, A., Elosegi, A., Batalla, R.J., 2015. Geomorphic status of regulated rivers in the Iberian Peninsula. *Sci. Total Environ.* 508, 101–114.
- Lucía, A., Comiti, F., Borga, M., Cavalli, M., Marchi, L., 2015. Dynamics of large wood during a flash flood in two mountain catchments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15 (8), 1741–1755.
- Lucianetti, G., Mastrorillo, L., Mazza, R., Partel, P., 2019. Groundwater response to precipitation extremes: the case of the “Vaia” storm (Eastern Italian Alps). *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater* 8 (4). <https://doi.org/10.7343/as-2019-429>.
- MacVicar, B., Piégay, H., 2012. Implementation and validation of video monitoring for wood budgeting in a wandering piedmont river, the Ain River (France). *Earth Surf. Process. Landf.* 37, 1272–1289. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3240>.
- Mallik, A. U., Richardson, J. S., 2009, Riparian vegetation change in upstream and downstream reaches of three temperate rivers dammed for hydroelectric generation in British Columbia, Canada, *ECOLOGICAL ENGINEERING* n. 35, 810-819.
- Maser, C., Sedell, J.R., 1994. *From the Forest to the Sea: The Ecology of Wood in Streams, Rivers, Estuaries, and Oceans*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- Mazzorana, B., Zischg, A., Largiader, A., Hübl, J., 2009. Hazard index maps for woody material recruitment and transport in alpine catchments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9 (1), 197–209.
- McBride, M., 2007. *Riparian Reforestation and Channel Change: Key Driving Mechanisms in Small Streams*. Ph.D. dissertation. University of Vermont, Burlington (185 pp.).
- McBride, M., Hession, C.W., Rizzo, D.M., 2010. Riparian reforestation and channel change: how long does it take? *Geomorphology* 116, 330–340.
- Merten, E., Finlay, J., Johnson, L., Newman, R., Stefan, H., Vondracek, B., 2010. Factors influencing wood mobilization in streams. *Water Resour. Res.* 46, W10514. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008772>.
- Mikuš, P., Wyżga, B., Kaczka, R.J., Walusiak, E., Zawiejska, J., 2013. Islands in a European mountain river: linkages with large wood deposition, flood flows and plant diversity. *Geomorphology* 202, 115–127.
- Mitsch, W. J. Gosselink, J.G., 2000, “Wetlands”, John Wiley & Sons, New York.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., Smith, R.D., Schmidt, K.M., Pess, G., 1995. Pool spacing in forest channels. *Water Resour. Res.* 31, 1097–1105.
- Montgomery, D.R., Collins, B.D., Buffington, J.M., Abbe, T.B., 2003. Geomorphic effects of wood in rivers. In: Gregory, S.V., Boyer, K.L., Gurnell, A.M. (Eds.), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers* Bethesda (MD) American Fisheries Society, pp. 21–47.
- Müller N. River dynamics and floodplain vegetation and their alteration due to human impact. *Large Rivers* 1996;9:477–512.
- Naiman, R. J. Decamps, H., 1997, “The Ecology of Interfaces: Riparian Zones”, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21, pp. 621-658.
- Nepf, H.M., 2012. Hydrodynamics of vegetated channels. *J. Hydraul. Res.* 50 (3), 262–279.
- O'Connor, J.E., Jones, M.A., Haluska, T.L., 2003. Flood plain and channel dynamics of the Quinault and Queets Rivers, Washington, USA. *Geomorphology* 51, 31–59.
- Osterkamp WR, Hupp CR. 1984. Geomorphic and vegetative characteristics along three Northern Virginia streams. *Geological Society of America Bulletin* 95: 1093–1101.

- Pellegrini, G., Martini, L., Cavalli, M., Rainato, R., Cazorzi, A., Picco, L., 2021, The morphological response of the Tegnass alpine catchment (Northeast Italy) to a Large Infrequent Disturbance, *Science of the Total Environment* n. 770.
- Petts, G.E., Moller, H., and Roux, A.L. (Eds) 1989. *Historical Changes of Large Alluvial Rivers. Western Europe*, Wiley, Chichester.
- Picco, L., Ravazzolo, D., Rainato, R., Lenzi, M.A., 2014a. Characteristics of fluvial islands along three gravel bed-rivers of North-Eastern Italy. *Cuadernos de Investigacion Geografica* 40, 53–66.
- Picco, L., Mao, L., Rainato, R., Lenzi, M.A., 2014b. Medium-term fluvial island evolution in a disturbed gravel-bed river (Piave River, Northeastern Italian Alps). *Geogr. Ann.* 96 (1), 83–97.
- Picco, L., Tonon, A., Ravazzolo, D., Rainato, R., Lenzi, M.A., 2015. Monitoring river islands dynamics using aerial photographs and LiDAR data: the Tagliamento river study case. *Appl. Geomatics* 7, 163–170.
- Picco, L., Sitzia, T., Mao, L., Comiti, F., Lenzi, M. A., 2016, Linking riparian woody communities and fluviomorphological characteristics in a regulated gravel-bed river (Piave River, Northern Italy), *ECOHYDROLOGY* 9, 101-112.
- Picco, L., Comiti, F., Mao, L., Tonon, A., Lenzi, M.A., 2017. Medium and short term riparian vegetation, island and channel evolution in response to human pressure in a regulated gravel bed river (Piave River, Italy). *Catena* 149, 760–769.
- Picco, L., Pellegrini, G., Iroumé, A., Lenzi, M.A., Rainato, R., 2023, The role of in-channel vegetation in driving and controlling the geomorphic changes along a gravel-bed river, *Geomorphology* 437.
- Piégay, H., 2003. Dynamics of wood in large rivers. In: Gregory, S., Boyer, K., Gurnell, A. (Eds.), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*. American Fisheries Society Symposium 37, pp. 119–133.
- 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.
- Pizzuto, J., O’Neal, M., Stotts, S., 2010. On the retreat of forested, cohesive riverbanks. *Geomorphology* 116, 341–352.
- Pollen-Bankhead, N., Simon, A., 2010. Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: is mechanical root reinforcement the whole story? *Geomorphology* 116, 353–362.
- Ravazzolo, D., Mao, L., Picco, L., Sitzia, T., Lenzi, M. A., 2015, Geomorphic effects of wood quantity and characteristics in three Italian gravel-bed rivers, *Geomorphology* n. 246, 78-89.
- Rigon, E., Comiti, F., Andreoli, A., Lenzi, M. A., 2008, Il materiale legnoso in alveo nei torrenti alpini: troppo o troppo poco? Evidenze dal bacino dell’alto Cordevole (Belluno), *Quaderni di idronomia montana* n. 28/2, *La qualità ambientale del sistema Fluviale*, a cura di Vito Ferro, 103-114.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussetini, M., 2010, *Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d’acqua*, *Sistema di valutazione morfologica dei corsi d’acqua*, versione 0, ISPRA, 13-15.
- Rominger, J., Nepf, H.M., 2011. Flow adjustments and interior flow associated with a rectangular porous obstruction. *J. Fluid Mech.* 680, 636–659.
- Ruiz-Villanueva, V., Wyzga, B., Mikuś, P., Hajdukiewicz, H., Stoffel, M., 2016. The role of flood hydrograph in the remobilization of large wood in a wide mountain river. *J. Hydrol.* 541, 330–343.
- Rutherford, I., Anderson, B., Ladson, A., 2007, *Managing the effects of riparian vegetation on flooding*, capitolo 5, 63-84.
- Sansoni, G., 2006, *Principi di riqualificazione fluviale*. Atti delle giornate di studio “Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti”, Autorità di Bacino Interregionale del fiume Magra, Sarzana, 24-26 ottobre.

- Sitzia T, Trentanovi G, Dainese M, Gobbo G, Lingua E, Sommacal M. 2012. Stand structure and plant species diversity in managed and abandoned silver fir mature woodlands. *Forest Ecology and Management* 270: 232–238.
- Sitzia, T., Picco, L., Ravazzolo, D., Comiti, F., Mao, L., Lenzi, M. A., 2016, Relationship between woody vegetation and geomorphological patterns in three gravel-bed rivers with different intensities of anthropogenic disturbance, *Advances in Water Resources* n. 93, 193-204.
- Sitzia, T., Iacopino, S., Alterio, E., Comiti, F., Surian, N., Mao, L., Lenzi, M.A., Campagnaro, T., Picco, L., 2023. Revisiting vegetation gradient analysis and the intermediate disturbance hypothesis for the interpretation of riverine geomorphic patterns. *Land* 12, 378.
- Surian, N., 1999a, Sediment size in a gravel-bed river (Piave river, Italy): longitudinal, vertical and temporal variability, *Quaderni di idronomia montana* n. 20, Dynamics of water and sediments in mountain basins, edited by Mario A. Lenzi, 131-143.
- Surian N. 1999b. Channel changes due to river regulation: the case of the Piave river, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 24: 1135–1151.
- Surian, N., 1999c, Channel changes in a regulated river: the case of the Piave River, Italy, *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Surian, N., Rinaldi, M., Pellegrini, L., Audisio, C., 2009, Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive, 19-24.
- Surian, N., Barban, M., Ziliani, L., Monegato, G., Bertoldi, W., Comiti, F., 2015. Vegetation turnover in a braided river: frequency and effectiveness of floods of different magnitude. *Earth Surf. Process. Landf.* 40 (4), 542-558.
- Tabacchi E, Correll DL, Hauer R, Pinay G, Planty-Tabacchi AM, Wissmar RC. 1998. Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. *Freshwater Biology* 40: 497–516.
- Tal M., Paola, C. Dynamic single-thread channels maintained by the interaction of flow and vegetation. *Geology* 2007; 35: 347-50.
- Tal M., Paola C. Effects of vegetation on channel morphodynamics: results and insights from laboratory experiments. *Earth Surf Process Landf* 2010; 35: 1014-28.
- Tonon, A., Rainato, R., Picco, L., 2018. Test of methodology for developing a large wood budget: A 1-year example from a regulated gravel bed river following ordinary floods. *Catena* 165, 115-124.
- Ulloa, H., Iroumé, A., Picco, L., Korup, O., Lenzi, M.A., Mao, L., Ravazzolo, D., 2015. Massive biomass flushing despite modest channel response in the Rayas River following the 2008 eruption of Chaitén volcano, Chile. *Geomorphology* 250, 397–406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.09.019>.
- Van de Wiel, M.J., Darby, S.E., 2007. A new model to analyse the impact of woody riparian vegetation on the geotechnical stability of riverbanks. *Earth Surf. Process. Landf.* 32, 2185–2198.
- Van Dijk, W.M., Teske, R., Van de Lageweg, W.I., Kleinhans, M.G., 2013. Effects of vegetation distribution on experimental river channel dynamics. *Water Resour. Res.* 49 (11), 7558–7574.
- Vargas-Luna, A., Dur' o, G., Crosato, A., Uittewaal, W., 2019. Morphological adaptation of river channels to vegetation establishment: a laboratory study. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 124 (7), 1981–1995.
- Ward, J. V., Tockner, K., Edwards, P. J., Kollmann, J., Bretschko, G. A., Gurnell, M., Petts G. E., and Rossaro, B., 1999, A reference river system for the alps: the “Fiume Tagliamento”, *Regulated rivers: research & management* n. 15, 63-75.
- Warren, D.R., Kraft, C.E., Keeton, W.S., Nunery, J.S., Likens, G.E., 2009. Dynamics of wood recruitment in streams of the northeastern US. *For. Ecol. Manag.* 258 (5), 804–813.
- Whitton, B.A. (Ed.) 1984. *Ecology of European Rivers*. Blackwell, Oxford.

Zong, L., Nepf, H., 2011. Spatial distribution of deposition within a patch of vegetation. Water Resour. Res. 47, W03516.

## 9. SITOGRAFIA

[Social Science Statistics \(socscistatistics.com\)](http://www.socscistatistics.com)

<https://wwwold.arpa.veneto.it> (Aeroporto di Belluno, ARPAV).