

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di Laurea Triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali

Studio della morfologia e vegetazione ripariale del Fiume Piave

Relatore:

Prof. Lorenzo Picco

Correlatore:

Dott. Giacomo Pellegrini

Laureanda:

Giulia Foresta

Matricola n. 2006878

Anno accademico 2022-2023

Indice

RIASSUNTO	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUZIONE	1
1.1 CLASSIFICAZIONI DEI SISTEMI FLUVIALI	1
1.1.1 CLASSIFICAZIONE DI BILLI	2
1.1.1.1. CORSO D'ACQUA RETTILINEO	3
1.1.1.2. CORSO D'ACQUA A CANALI INTRECCIATI	3
1.1.1.3. CORSO D'ACQUA PSEUDOMEANDRIFORME.....	4
1.1.1.4. CORSO D'ACQUA MEANDRIFORME	5
1.1.1.5. CORSO D'ACQUA ANASTOMIZZATO	6
1.2 FORME E SUPERFICI DELL'ALVEO FLUVIALE.....	6
1.3 GRANULOMETRIA	8
1.4. VEGETAZIONE	11
2. OBIETTIVI	12
3. MATERIALI E METODI.....	13
3.1 AREA DI STUDIO.....	13
3.2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ DI CAMPO	15
3.3 ANALISI MORFOLOGICHE	16
3.4 ANALISI GRANULOMETRICHE.....	18
3.5 ANALISI VEGETAZIONALI	20
4. RISULTATI E DISCUSSIONI	21
4.1 ANALISI MORFOLOGICA E PERSISTENZA FLUVIALE	21
4.2 GRANULOMETRIA	29
4.3 VEGETAZIONE	33
5. CONCLUSIONI	39
6. BIBLIOGRAFIA.....	40

Indice delle figure

Figura 1.1.1: Classificazione secondo Rosgen delle morfologie fluviali (Rosgen, 1994)	1
Figura 1.1.2: Forme di fondo a confronto alimentazione solida (Qs) e capacità di trasporto della corrente (Qc) (Montgomery et al., 1997)	2
Figura 1.1.1.1: “Morfologia dei corsi d’acqua” Billi P. (1994)	3
Figura 1.1.1.4.1: Evoluzione di un meandro: a) disattivazione di parte della curva di meandro attraverso un taglio della barra di meandro, b) taglio del collo di meandro, c) Avulsione (Allen, 1965)	5
Figura 1.3.1: Rappresentazione degli assi delle particelle (Bunte et al., 2001; Yuzyk, 1986; Yuzyk et al., 1991)	9
Figura 1.3.2: classificazione della grandezza dei grani (Wentworth,1922)	9
Figura 1.3.3: Come variano le due frequenze a confronto al variare dell’indice phi	10
Figura 3.1.1: inquadramento geografico del Fiume Piave e relativa area di studio	13
Figura 3.1.2: bacino del fiume Piave (Picco et al., 2016)	13
Figura 3.1.3: mappa delle tre sezioni nel quale sono presenti le aree di saggio	14
Figura 3.2.1: foto di campo della sezione BL1 che mostra una barra in primo piano, seguita da un canale, una barra alta e piana inondabile in lontananza. Sono visibili anche le bandierine utilizzate per l’identificazione delle varie aree di saggio	16
Figura 3.3.1: foto di campo della sezione BL1 che mostra in primo piano una barra erbacea con sullo sfondo un canale, altre barre e la piana inondabile. Sono visibili anche le bandierine utilizzate per l’identificazione delle varie aree di saggio	17
Figura 3.3.2: foto di campo della sezione BL1 che mostra la piana inondabile e la sua vegetazione. È visibile anche una delle bandierine utilizzate per l’identificazione delle aree di saggio	18
Figura 4.1.1: Sezione trasversale BL1	21
Figura 4.1.2: Sezione trasversale BL2	21
Figura 4.1.3: Sezione trasversale BL3	22
Figura 4.1.4: grafico a barre che mostra come cambia la distribuzione delle unità morfologiche dal 1960 ad oggi	23
Figura 4.1.5: grafico a barre che rappresenta la distribuzione delle unità morfologiche degli anni 2010, 2015, 2019, 2022 e 2023	24
Figura 4.1.6: persistenza tra gli anni 2010-2015	25
Figura 4.1.7: persistenza tra gli anni 2015-2019	25
Figura 4.1.8: persistenza tra gli anni 2019-2022	26
Figura 4.1.9: persistenza tra gli anni 2022-2023	27
Figura 4.1.10: Persistenza tra gli anni 2010-2019	27
Figura 4.1.11: persistenza tra gli anni 2010-2022	28
Figura 4.1.12: persistenza tra gli anni 2010-2023	28
Figura 4.2.1: grafico a linee per il confronto della variazione della granulometria nelle diverse barre	29

Figura 4.2.2: confronto della distribuzione dei D50 in tutte le aree di saggio nel 2010 e nel 2023	30
Figura 4.2.3: confronto della distribuzione dei D50 nella sezione BL1 nel 2010 e nel 2023	31
Figura 4.2.4: confronto della distribuzione dei D50 nella sezione BL2 nel 2010 e nel 2023	31
Figura 4.2.5: confronto della distribuzione dei D50 nella sezione BL3 nel 2010 e nel 2023	32
Figura 4.3.1: confronto tra numero di specie legnose ed erbacee nel 2023 in un grafico a torta	33
Figura 4.3.2: confronto della percentuale di specie autoctone ed esotiche per le specie erbacee e legnose nel 2023 in un grafico a barre	33
Figura 4.3.3: confronto delle medie per ogni tipologia di specie dal 2010 al 2023	34
Figura 4.3.4: grafico nel quale viene mostrata la distribuzione del numero di specie per le tre categorie per l'anno 2010 e 2023 per l'unità morfologica della piana alluvionale	35
Figura 4.3.5: grafico nel quale viene mostrata la distribuzione del numero di specie per le tre categorie per l'anno 2010 e 2023 per l'unità morfologica della barra vegetata	36
Figura 4.3.6: grafico nel quale viene mostrata la distribuzione del numero di specie per le tre categorie per l'anno 2010 e 2023 per l'unità morfologica della barra erbacea	37

Indice delle Tabelle

Tabella 4.1.1: numero di aree di saggio rinvenute sulle diverse unità morfologiche durante il periodo 1960-2023	22
Tabella 4.2.1: risultato del test t-student per il confronto tra il D50 negli anni 2010 e 2023	30
Tabella 4.3.1: risultato del test t-student per le aree di saggio con la piana alluvionale come unità morfologica	35
Tabella 4.3.2: risultato del test t-student per le aree di saggio con barra vegetata come unità morfologica	36
Tabella 4.3.3: risultato del test t-student per le aree di saggio con barra erbacea come unità morfologica	37

Riassunto

I fiumi sono soggetti a numerosi cambiamenti che portano a modificazioni evidenti della loro morfologia, a seguito di eventi ordinari e/o straordinari che innescano continui processi di erosione-deposizione all'interno del corridoio fluviale.

Pertanto, il seguente studio, sviluppato lungo tre sezioni (BL1, BL2, BL3) di un tratto del fiume Piave (San Pietro in Campo, BL), si concentra su tre obiettivi principali: i) analizzare la variazione delle unità morfologiche nel lungo (1960-2023) e medio (2010-2023) termine lungo il fiume Piave, ii) valutare le dimensioni dei sedimenti in relazione alle unità morfologiche, ed iii) esaminare la vegetazione d'alveo e riparia, con particolare attenzione alle specie aliene.

Sfruttando varie attività di campo, tra cui rilievi LiDAR con drone, analisi granulometriche e rilievi fitosociologici, è stato possibile ottenere dati dettagliati e approfonditi sulla morfologia, la composizione dei sedimenti e la vegetazione del fiume Piave.

I risultati relativi alle analisi morfologiche e di persistenza fluviale hanno evidenziato una varietà di comportamenti tra le diverse unità morfologiche, con la piana alluvionale come la zona più stabile, con una persistenza dal 2010 al 2023 dell'80%, e le isole come le più variabili nel tempo, con una persistenza negli stessi anni dello 0%. L'analisi granulometrica, invece, ha rivelato che la granulometria dei sedimenti è eterogenea in tutte e tre le sezioni, con un D50 totale delle tre sezioni pari a 32,1 mm, che corrisponde a ghiaia grossolana. Ad ogni modo, la granulometria è rimasta relativamente stabile nel periodo 2010-2023, sebbene siano emerse variazioni significative in una specifica sezione (BL1) che è passata da avere D50 pari a 22,0 mm ad 33,0 mm. Dal 2010 al 2023, l'analisi della vegetazione ha mostrato un aumento delle specie erbacee a discapito delle specie legnose: nel 2023, infatti, la vegetazione è composta per il 78% da specie erbacee e per il 22% di specie legnose, con un notevole aumento delle specie aliene invasive.

Questi risultati sottolineano la necessità di monitorare attentamente l'evoluzione del fiume Piave per la gestione della vegetazione riparia in futuro. In conclusione, questa tesi fornisce un'analisi dettagliata della morfologia, della granulometria dei sedimenti e della vegetazione del fiume Piave nel periodo 2010-2023. I risultati rilevati evidenziano importanti cambiamenti morfologici e variazioni nella composizione della vegetazione, con implicazioni significative per la gestione del fiume e la conservazione dell'ecosistema ripario.

Abstract

Rivers undergo continuous changes in their morphology, during both ordinary and extraordinary events that trigger erosion and deposition processes within the river corridor.

This study, conducted along three sections (BL1, BL2, BL3) of the Piave River (San Pietro in campo, BL), focuses on three main objectives: i) analysing the variation of morphological units in the long (1960-2023) and medium term (2010-2023) along the Piave River, ii) assessing grain size distributions in relation to morphological units, and iii) examining the riverbed and riparian vegetation, with particular attention to alien species. Leveraging various field activities, including LiDAR drone surveys, grain size data collection, and phytosociological surveys, detailed and in-depth data on the Piave River's morphology, sediment composition, and vegetation have been obtained.

The results of morphological and fluvial persistence analyses have shown a variety of behaviours among different morphological units, with the floodplain being the most stable zone, with a persistence from 2010 to 2023 of 80%, and islands being the most variable over time with a persistence of 0%. Grain size distribution analysis revealed heterogeneous sediment composition in all three sections, with a D50 corresponding to coarse gravel. Nevertheless, the grain sizes remained relatively stable from 2010 to 2023, although significant variations emerged in a specific section, BL1, which went from having D50 equal to 22.0 mm to 33.0 mm. Vegetation analysis showed an increase in herbaceous species at the expense of woody species from 2010 to 2023, with a notable increase in invasive alien species. In 2023, in fact, the vegetation is composed of 78% herbaceous species and 22% woody species.

These results emphasize the need for careful monitoring of the Piave River's evolution for riparian vegetation management in the future. In conclusion, this thesis provides a detailed analysis of the Piave River's morphology, sediment grain size, and vegetation from 2010 to 2023. The findings highlight significant morphological changes and variations in vegetation composition, with significant implications for river management and riparian ecosystem conservation.

1. Introduzione

I fiumi, a causa della loro dinamicità, sono soggetti fin dalla loro formazione a numerosi cambiamenti che portano anche a modificazioni evidenti della loro morfologia. A testimonianza di ciò sono i paleoalvei, che sono antichi alvei ormai abbandonati che offrono informazioni sul passato del corso d'acqua (Piovan, 2008). Inoltre, si possono osservare la formazione di terrazzi fluviali e di pianure e conoidi alluvionali. Questa continua evoluzione avviene sia durante eventi straordinari come le piene sia a causa dei continui fenomeni di erosione e deposizione.

1.1 Classificazioni dei Sistemi Fluviali

Quando si studia un fiume si cerca di classificarlo in modo da poterlo analizzare più facilmente. Come molti soggetti naturali le tipologie di fiume non hanno divisioni nette e creare una classificazione stabile nel tempo presenta complicazioni. Nel tempo ne sono comunque state create diverse, analizzate in seguito, ognuna con i suoi criteri e approcci specifici. La prima è la classificazione di Rosgen (1994), una delle più utilizzate. Questa classificazione suddivide i fiumi in 41 tipi morfologici divisi in 8 categorie principali in base alla combinazione di diverse variabili quali pendenza, grado di confinamento, rapporto larghezza\profondità media, sinuosità e granulometria. Le categorie vengono denominate dalla A alla G, dove, ad esempio, A rappresenta un fiume confinato, stretto, profondo e poco sinuoso, mentre E indica un fiume non confinato e molto sinuoso. All'interno di queste categorie sono presenti sottocategorie che si differenziano in base al materiale del letto e alla pendenza. Questa classificazione tiene conto dei confinamenti e delle caratteristiche del corso d'acqua ma non considera il trasporto solido (Rosgen, 1994).

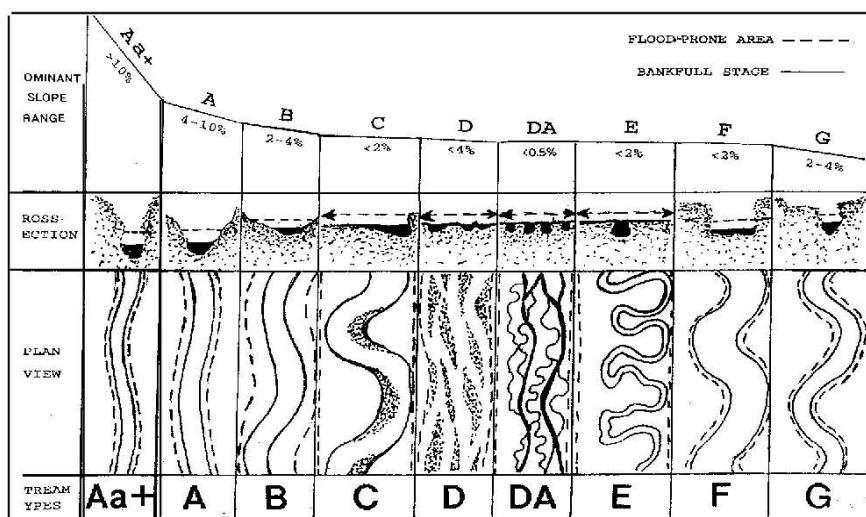


Figura 1.1.1: Classificazione secondo Rosgen delle morfologie fluviali (Rosgen, 1994).

Un'altra è, invece, la nota classificazione di Montgomery & Buffington (1997), anch'essa utilizzata nel campo degli studi fluviali. Questa classificazione offre una prospettiva approfondita sulle diverse forme del fondo dei fiumi e come sono influenzate dalla pendenza e dall'energia del corso d'acqua. Queste informazioni sono importanti per comprendere i processi di sedimentazione ed erosione

che si verificano all'interno dei fiumi, fenomeni che sono influenzati dall'energia derivante dalla pendenza stessa e dalla quantità di sedimento in alveo, che aumenta con l'aumentare dell'area drenata, grazie all'incremento delle sorgenti di approvvigionamento. Questa classificazione, quindi, si basa principalmente sulle forme di fondo del fiume e le divide in 5 classi: rapide (Cascade), zone a gradini (Step Pool), letti pianeggianti (Plane-Bed), zone con pozze (Pool-Riffle) e scivoli di sabbia (Dune-Ripple) (Montgomery et al., 1997).

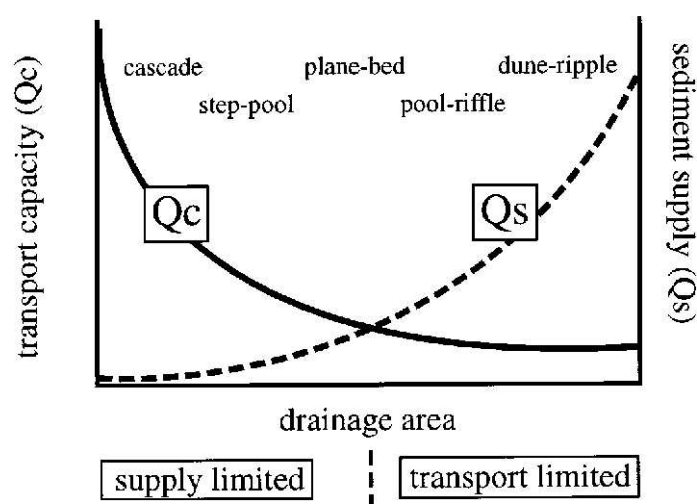


Figura 1.1.2: Forme di fondo: a confronto alimentazione solida (Q_s) e capacità di trasporto della corrente (Q_c) (Montgomery et al., 1997)

Tipica dei torrenti montani, invece, è la classificazione di Lenzi-D'Agostino-Sonda (2000). Essa, infatti, integra alla classificazione di Montgomery delle ulteriori classi, includendo step intermedi e aggiungendo 8 tipi di sezione trasversale (da A a H). Le lunghezze dei tratti da analizzare possono essere anche estremamente piccole, fino a 10 m (Lenzi et al., 2000). Queste, in ogni caso, sono solo alcune delle classificazioni utilizzate per categorizzare i sistemi fluviali.

1.1.1 Classificazione di Billi

La Classificazione di Billi 1994 è una delle prime e più complete classificazioni della morfologia fluviale che divide i corsi d'acqua in 5 categorie: rettilineo, a canali intrecciati, pseudomeandri-forme, meandri-forme ed anastomizzato. Per cercare di categorizzare i fiumi, Billi ha confrontato vari parametri, sia geometrico-planimetrici che idraulico-sedimentologici.

Dei parametri geometrico-planimetrici, ovvero quelli relativi alle caratteristiche morfologiche, ha selezionato la pendenza, rapporto larghezza/profondità, sinuosità (lunghezza corso d'acqua/lunghezza asse vallivo). Dei parametri idraulico-sedimentologici, invece, ha selezionato la granulometria, ovvero la dimensione dei sedimenti, il trasporto solido totale e il rapporto trasporto solido di fondo/ trasporto solido totale. Nonostante la classificazione di Billi sia ottima per una prima analisi del fiume e per avere subito un inquadramento di quest'ultimo, essa ha il limite di essere poco capillare e generalizzare molto.

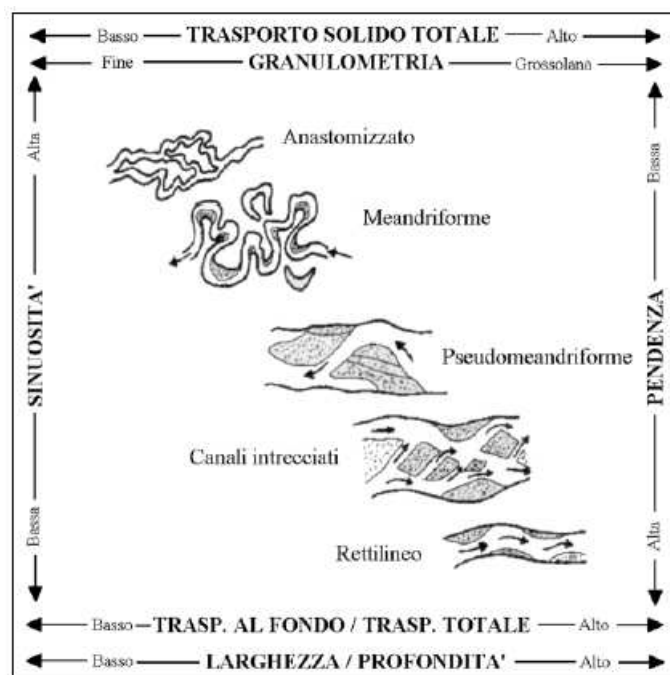


Figura 1.1.1.1: "Morfologia dei corsi d'acqua". Billi P. (1994)

1.1.1.1. Corso d'acqua rettilineo

I corsi d'acqua rettilinei, corsi a canale singolo, sono poco comuni, si trovano principalmente nelle valli montane e si sviluppano lungo alvei confinati, con una piana alluvionale poco sviluppata. Questa configurazione morfologica è tipicamente associata a situazioni artificiali. Essa, infatti, è rara in natura e, quando presente, di solito lo è solo per tratti inferiori a dieci volte la larghezza dell'alveo. Presentano un'elevata pendenza che varia da 0,5 a 1%, un indice di intrecciamento pari ad 1 e una sinuosità approssimativamente uguale a 1 sia durante le piene che durante i periodi di portate minori. Ciò che contraddistingue i corsi d'acqua rettilinei è l'alimentazione solida elevata, ovvero la quantità di sedimenti che il fiume recluta durante il suo passaggio. Inoltre, è comune osservare barre laterali alternate lungo l'alveo. Nei corsi d'acqua rettilinei, gli affioramenti rocciosi sono comuni e, se predominano, l'alveo viene definito "a fondo fisso" e questo è anche indice di una capacità di trasporto dei sedimenti nettamente superiore all'alimentazione solida presente. Inoltre, l'evoluzione morfologica degli alvei scavati nella roccia è molto più lenta rispetto a quelli alluvionali, che scorrono sui propri sedimenti. Questa lenta evoluzione è legata alle caratteristiche litologiche del substrato roccioso. Questa configurazione morfologica è tipicamente associata a situazioni artificiali, poiché è rara in natura e, quando presente, di solito si riscontra solo per tratti inferiori a 10 volte la larghezza dell'alveo" (Rinaldi, 2010).

1.1.1.2. Corso d'acqua a canali intrecciati

I fiumi a canali intrecciati sono una classe di corsi d'acqua piuttosto comune che si sviluppa in una grande varietà di ambienti. Nelle aree periglaciali, caratterizzate da clima temperato umido o freddo, si formano complessi sistemi di questa morfologia su ampie pianure alluvionali ghiaiose,

mentre negli ambienti semi-aridi si formano larghi fiumi a canali intrecciati ad alvei sabbiosi. Tale categoria non ha stretti limiti per quanto riguarda le portate e pendenze, che variano da 0,01% a 0,1%, ha elevato trasporto solido di fondo e sponde erodibili non coesive. Il loro rapporto larghezza/profondità è generalmente compreso tra 40 e 300. Questa tipologia di corso d'acqua presenta alvei molto ampi con minimo due canali di simili dimensioni che si intersecano: questi sono separati da barre longitudinali e isole a forma di losanga. Per quanto riguarda le barre, a causa della tendenza di questa tipologia di fiumi ad andare incontro a frequenti periodi di piena, queste cambiano molto e si dividono in barre che si possono modificare solamente durante eventi di alta intensità e barre che si modificano anche durante piene ordinarie. Inoltre, le barre che vengono sommerse più di frequente sono prive di vegetazione, con segregazione dei sedimenti, mentre nelle barre più stabili prevalgono sedimenti più fini che favoriscono lo sviluppo di una copertura vegetale. I fiumi a canali intrecciati hanno quindi elevata dinamicità. Inoltre, le migrazioni laterali avvengono per lo più all'interno dell'alveo di piena, e soltanto durante eventi eccezionali si hanno modifiche del tracciato planimetrico, con anche fenomeni di avulsione. Durante i flussi di magra pochi canali sono occupati ma poi col crescere della portata essi vengono attivati gradualmente, fino a riempire totalmente l'alveo di piena: in questa condizione la sinuosità è prossima all'unità. Nel passato questa classe di corsi d'acqua era molto più diffusa, probabilmente a causa delle numerose attività antropiche che hanno portato ad andamenti soprattutto monocursali. Infatti, nel fiume Piave, ad esempio, tuttora a canali intrecciati nel tratto pedemontano, il grado di intrecciamento è nettamente minore (Lenzi et al., 2000).

1.1.1.3. Corso d'acqua pseudomeandriforme

I corsi d'acqua pseudomeandriformi sono una categoria intermedia tra i corsi d'acqua meandriformi e quelli a canali intrecciati. Presentano una sinuosità medio-bassa, che può variare in base alle portate. Durante i periodi di magra e morbida, assumono un aspetto meandriforme, con barre emerse lungo l'alveo, mentre durante gli eventi di piena, le sponde rimangono parallele e il corso d'acqua diventa pressoché rettilineo, portando la sinuosità a 1. A differenza dei corsi d'acqua meandriformi, la dinamica delle barre negli pseudomeandriformi è trasversale alla direzione principale del flusso, a causa delle correnti secondarie. Questi corsi d'acqua sono caratterizzati da un corso principale e possono presentare canali secondari sia attivi che inattivi. I canali attivi, chiamati canali di taglio, si originano dal passaggio dell'acqua attraverso una parte della barra laterale durante una piena, e sono tali durante le portate medio-alte. I canali inattivi, invece, chiamati canali di morta, sono una parte del canale con acqua stagnante, alimentato solo durante portate elevate. Come i fiumi a canali intrecciati, anche gli pseudomeandriformi possono migrare longitudinalmente lungo l'asse del corso d'acqua. Questi corsi d'acqua sono considerati instabili e possono evolvere verso configurazioni meandriformi o a canali intrecciati a seguito di piccole variazioni dei parametri (Lenzi et al., 2000).

1.1.1.4. Corso d'acqua meandriforme

I fiumi meandriformi sono chiamati così a causa del loro profilo planimetrico, che mostra delle anse curvilinee dette appunto meandri. Al contrario degli pseudomeandriformi hanno una sinuosità non dipendente dalla portata, compresa tra 1.5 e 3. Generalmente presentano una granulometria sabbiosa o limo-argillosa, a causa delle basse pendenze: nonostante questo ci sono casi di fiumi di questa tipologia ghiaiosi. Nelle parti interne delle curve si trovano quelle che vengono chiamate barre di meandro, cioè dei gruppi di sedimenti di forma semi-conica. Questa classe di fiumi, caratterizzata dalla presenza di meandri ha degli specifici parametri per essi quali l'ampiezza A , la lunghezza L e il raggio di curvatura R . Questi parametri vengono poi legati attraverso delle formule empiriche ad altri, come la larghezza dell'alveo e una portata formativa. La tendenza del fiume a creare meandri fa pensare che questa conformazione sia più stabile. A dimostrazione di questo, si osserva questa caratteristica anche in fondi non facilmente deformabili: è sufficiente che le sponde siano erodibili ma non troppo instabili. Da un punto di vista termodinamico, l'andamento meandriforme riduce la pendenza della valle e aumenta la resistenza al moto: il meandro, quindi, può essere visto come un meccanismo per ridurre l'energia cinetica. La migrazione dei meandri avviene longitudinalmente e trasversalmente, per via dei fenomeni di erosione della sponda esterna e dei fenomeni di deposito di elementi in quella interna. Questo movimento aumenta la sinuosità, ovvero il rapporto tra la lunghezza del corso d'acqua e la lunghezza dell'asse della valle (Leopold et al., 1964), fino anche all'esclusione di tratti di canale attivo. Uno di questi è il taglio di collo del meandro, originato quando, durante un periodo di piena, le pareti esterne di due meandri molto accentuati e successivi cedono. In questo caso il flusso si concentrerà sul nuovo percorso più diretto, abbandonando il meandro tagliato e formando un lago chiamato lanca, un deposito di sedimenti di inondazione che finirà inglobato nella piana alluvionale. Se il fiume presenta minore sinuosità e sedimenti più grossolani durante una piena, si può osservare il taglio di barra di meandro, similmente al processo che intercorre per i canali di taglio dei corsi pseudomeandriformi. Inoltre, in questi fiumi sono molto diffusi i casi di avulsione, cioè la formazione di un nuovo alveo nella pianura alluvionale dopo un evento di piena. I fiumi meandriformi sono la classe di fiume più presente nelle zone antropizzate ed anche per questo sono importanti e molto più studiati.

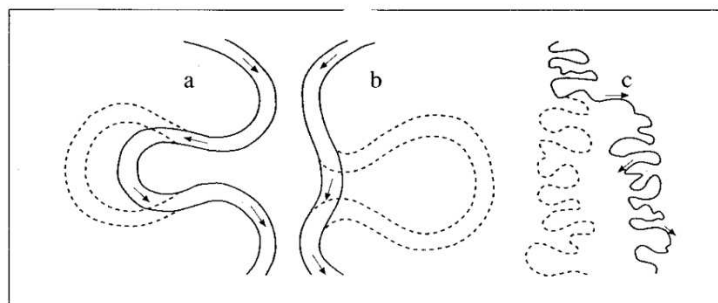


Figura 1.1.1.4.1: Evoluzione di un meandro: a) disattivazione di parte della curva di meandro attraverso un taglio della barra di meandro, b) taglio del collo di meandro, c) Avulsione (Allen, 1965)

1.1.1.5. Corso d'acqua anastomizzato

Il corso d'acqua anastomizzato è una tipologia fluviale piuttosto rara che si trova in aree con pendenze molto basse (< 0,01%) e quindi in presenza di accentuate condizioni favorevoli alla deposizione di sedimenti. Questi fiumi sono formati da due o più canali relativamente stabili, in genere meandriformi, che sono interconnessi tra loro. A differenza dei corsi d'acqua meandriformi tradizionali, la dinamica dei fiumi anastomizzati è molto più lenta a causa dell'elevata coesione delle sponde, che rende l'alveo molto stabile. Ad ulteriore prova di ciò, i canali sono separati da porzioni di piana alluvionale avente dimensioni molto maggiori del canale e non da barre. La sinuosità dei singoli canali può variare ma complessivamente la configurazione morfologica dell'intero corso d'acqua è anastomizzata. Questa tipologia si caratterizza per una bassa variabilità delle portate, scarso trasporto solido in sospensione e quasi totale assenza di trasporto al fondo.

1.2 Forme e superfici dell'alveo fluviale

L'alveo è l'insieme dei canali, delle barre e delle isole. A volte il riconoscimento dell'alveo può risultare complicato: possono esserci, infatti, limiti morfologicamente più o meno sfumati, come nel passaggio graduale tra alveo e piana inondabile. Quando la distinzione è dubbia, ci si basa su dati topografici, sedimentologici e vegetazionali. Il limite dell'alveo coincide con la portata a piene rive, cioè il livello raggiunto alla massima portata raggiungibile senza fenomeni di esondazione (Surian et al., 2009).

All'interno dell'alveo sono presenti:

Canale:

Il canale è la porzione più profonda dell'alveo: è la sede del deflusso idrico ma possono anche essere asciutti in condizioni di magra. Il punto più depresso del canale si indica con il termine Talweg.

A seconda dell'entità della corrente, si può parlare di canale di magra, di morbida o di piena. Un canale è delimitato da sponde con inclinazione variabile dipendente dalla granulometria e dall'effetto stabilizzante della vegetazione. Le piene meno frequenti di quelle a piene rive possono portare ad esondazioni e alla formazione, se possibile, della piana alluvionale (Surian et al., 2009).

Barra:

La barra è un'unità morfologica composta da sedimenti analoghi a quelli presenti sul fondo del canale. È generalmente emersa: è, infatti, soggetta a flussi idrici solo durante eventi di piena. Può anche essere coperta da vegetazione, discontinua e di tipo erbaceo-arbustiva (Surian et al., 2009).

Si possono distinguere diverse tipologie di barre a seconda della pendenza del canale, alla loro forma, alla posizione all'interno dell'alveo e dell'entità del trasporto solido. Queste vengono definite quindi barra: laterale, longitudinale, trasversale, diagonale, alternate, di meandro, e altre. Esiste inoltre la divisione in barra alta e barra bassa: la barra alta è caratterizzata da una posizione topografica più elevata, da una maggiore presenza di sedimenti fini superficiali e da una copertura vegetazionale più diffusa. Si può infine dividere le barre in ulteriori tre categorie, a seconda del loro stato vegetativo: barra nuda, barra vegetata e barra erbacea (Cencetti et al., 2007). La barra nuda,

come si può intendere, è priva di vegetazione, solitamente è la più vicina al canale ed ha persistenza meno marcata. La barra erbacea potrebbe essere considerata come l'evoluzione della barra nuda ed in essa si trovano piante erbacee e piantine arboree. Infine, la barra vegetata non è soggetta a disturbi da molto più tempo delle altre e, se tale condizione permane, è destinata ad evolversi in una piana alluvionale.

Isola:

Si definisce isola la porzione di alveo coperta da vegetazione erbacea-arbustiva e arborea. Rappresentano la porzione più elevata dell'alveo e vengono sommerse più raramente delle barre (Surian et al., 2009). Generalmente si possono individuare tre tipologie: isole pioniere, isole giovani ed isole stabili. Le isole pioniere sono superfici poco coperte da vegetazione e sono per questo di modesta grandezza. La vegetazione arborea presente ha altezze comprese tra 3 e 5 m e una densità bassa delle chiome lasciando passare in molti punti la luce al suolo. Le isole giovani presentano una vegetazione più matura rispetto alle precedenti, con piante arboree di altezze comprese tra i 5 e 15 m. La densità delle chiome inizia ad aumentare e quindi le ombre generate sono più evidenti. Infine, le isole stabili presentano una fitta vegetazione arborea con altezze maggiori di 15 m, un'alta densità e notevoli dimensioni delle chiome, che generano ombre molto evidenti (Bottazzo, 2013).

Sponda:

La sponda è una superficie con pendenza elevata che delimita l'alveo lateralmente separandolo dalla piana inondabile (Surian et al., 2009).

Piana inondabile:

Si definisce piana inondabile la superficie pianeggiante adiacente all'alveo formata dal corso d'acqua. È una porzione soggetta ad inondazioni con frequenza di 1-3 anni. La sua formazione è dovuta alla migrazione laterale del corso d'acqua o, in alternativa, alla deposizione di sedimenti durante le esondazioni. Tendenzialmente si trova a quote più elevate dell'alveo, presenta sedimenti più fini e copertura vegetale stabile, anche se giovane (Surian et al., 2009).

La classificazione delle piane alluvionali di Nanson & Croke divide le piane in tre categorie:

- Le piane definite ad "Alta energia" sono formate da sedimenti non coesivi, ghiaia e sabbia. Sono piane tipiche montane caratterizzate da grande confinamento che limita la migrazione laterale.
- Le piane a "Media energia" presentano sedimenti non coesivi nelle quali è presente accrescimento laterale grazie a barre di meandro o a barre dei canali intrecciati. Si trovano in zone pedemontane.
- Le piane a "Bassa energia" sono formate da sedimenti coesivi e sono tipiche dei corsi d'acqua a bassa e bassissima pendenza (meandrici e anastomizzati). I meccanismi principali presenti sono l'accrescimento verticale ed occasionali avulsioni, dato che le sponde coesive rendono difficile la migrazione laterale (Nanson & Croke, 1992; Lenzi, 2022).

Terrazzo:

Il terrazzo è una piana inondabile inattiva, adiacente all'alveo e alla piana inondabile, che può essere interessata da inondazione con una frequenza minore rispetto alla piana alluvionale, ad esempio 5-10 anni (Surian et al., 2009).

1.3 Granulometria

La granulometria è la caratterizzazione in termini statistici di una miscela di particelle di sedimento. Il campionamento delle particelle si divide in due tipologie principali: ponderale e numerale.

i) Il metodo di campionamento ponderale, praticato come setacciatura al vaglio meccanico, è adatto per campionamenti di tipo volumetrico. La profondità del campionamento è due volte il diametro massimo. Le dimensioni delle particelle vanno da ghiaia grossa a sabbia molto fine. In alcuni casi il diametro massimo è nell'intervallo 200-250 mm.

ii) Il metodo di campionamento numerale, invece, è adatto per la granulometria grossolana. Si tratta di un campionamento dello strato superficiale e può essere o parziale o totale.

Il campionamento totale è ad area dei grani superficiali e si può effettuare in modo manuale o fotografico. La campionatura parziale può essere in linea o a reticolo. Quella a reticolo viene effettuata tramite una forma quadrata in legno o altro materiale rigido, con all'interno dei cordoni perpendicolari tra loro, in modo appunto da formare delle maglie quadrate. Il campionamento parziale in linea viene definito casuale quando viene effettuato camminando lungo linee immaginarie e contando i clasti a intervalli regolari. Questa tecnica però genera molti errori dati dalle preferenze involontarie dell'operatore. Per questo, in generale, è preferibile utilizzare una selezione sistematica, misurando i campioni lungo linee ad intervalli regolari per evitare il doppio conteggio degli elementi grossolani (procedura nel dettaglio esposta nel capitolo 3 Materiali e metodi).

L'analisi delle dimensioni delle particelle riguarda la misurazione e l'analisi dei tre assi delle stesse. In molti casi, però, è più conveniente caratterizzare la dimensione delle particelle utilizzando una sola variabile quale la lunghezza dell'asse intermedio o la dimensione della griglia su cui la particella è stata trattenuta. Proprio per questa ragione viene data particolare attenzione alla definizione degli assi medi b . Una volta determinate le dimensioni delle particelle, vengono poi analizzate statisticamente per permettere un qualsiasi confronto tra due granulometrie, che sia nel tempo o tra due siti. L'identificazione degli assi presenta fonti d'errore dati dall'incertezza di definizione, vista la grande varietà di forme che una particella può assumere. La forma delle particelle è importante per comprendere i loro processi di mobilizzazione, trasporto e deposizione. Inoltre, le dimensioni medie delle particelle sul fondo del fiume influenzano l'idraulica del flusso e la velocità di trasporto del sedimento (Bunte et al., 2001).

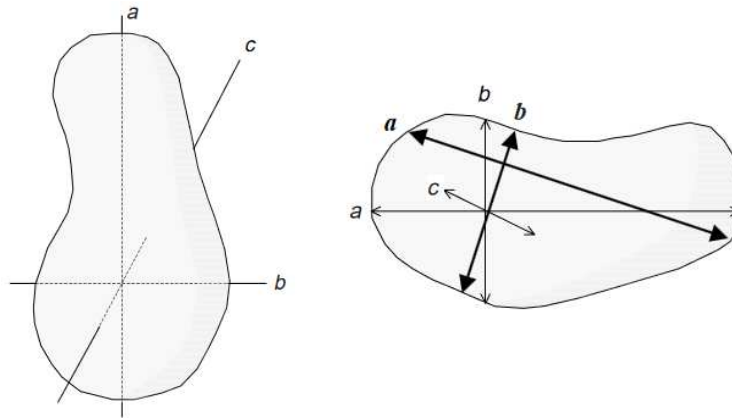


Figura 1.3.1: Rappresentazione degli assi delle particelle (Bunte et al., 2001; Yuzyk, 1986; Yuzyk et al., 1991)

Al fine di ottenere una distribuzione approssimativamente normale delle dimensioni delle particelle è comunemente utilizzata la scala di Wentworth. In questa scala, le loro dimensioni aumentano di un fattore due da una classe di dimensioni a quella successiva e vengono quindi suddivise in sei categorie principali: massi, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo e argilla (come mostrato in Figura 4). Queste classi sono raggruppate in base alla scala di Wentworth e vengono espresse in unità di millimetri.

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

Figura 1.3.2: classificazione della grandezza dei grani (Wentworth,1922)

La scala di Wentworth è importante perché permette di ottenere una distribuzione normale delle dimensioni dei grani e facilitare, quindi, l'analisi statistica delle dimensioni delle particelle. Inoltre,

nelle analisi delle dimensioni delle particelle, è possibile utilizzare anche le unità ϕ (phi) e ψ (psi). Le unità ϕ sono calcolate come il logaritmo negativo in base 2 delle dimensioni delle particelle in millimetri, mentre le unità ψ sono calcolate come il logaritmo in base 2 delle dimensioni delle particelle in millimetri. La scala ϕ produce valori positivi per le dimensioni dei grani inferiori a 1 mm e valori negativi per le dimensioni dei grani superiori a 1 mm, mentre la scala ψ produce valori crescenti per le dimensioni dei grani che aumentano, dalla sabbia ai massi (Bunte et al., 2001).

La curva granulometrica, ottenuta dalle misurazioni dei diametri di un campione delle particelle, fornisce informazioni su tipo e grado di assortimento delle particelle e sull'eterogeneità di dimensioni del campione. Ne esistono due tipologie, una che esprime la frequenza relativa e una che esprime la frequenza cumulata. La prima curva esprime la percentuale di ogni classe diametrica rispetto al totale del campione, mentre la seconda rappresenta la somma della sua frequenza relativa e delle cumulate che la precedono, cioè l'integrale della frequenza relativa di quella determinata classe diametrica. Come si può notare in Figura 1.3.3, la curva di frequenza relativa ha un andamento a campana, da cui si può ricavare il diametro medio, mentre la curva di frequenza cumulata ha un andamento crescente, terminante a 100. Da questa curva si possono ricavare i diametri percentili (D16, D50, D84, etc..) ed il modulo di uniformità di Kramer, cioè il rapporto tra le due aree individuate dal D50. Più un'area è composta da particelle di diverse dimensioni, più si può descrivere come eterogenea, con minor grado di uniformità, con maggior livello di gradazione e minor grado di classificazione. Queste caratteristiche possono essere notate anche analizzando la curva della frequenza relativa, attraverso la deviazione standard, il coefficiente di uniformità, l'indice di gradazione ed il coefficiente di classazione.

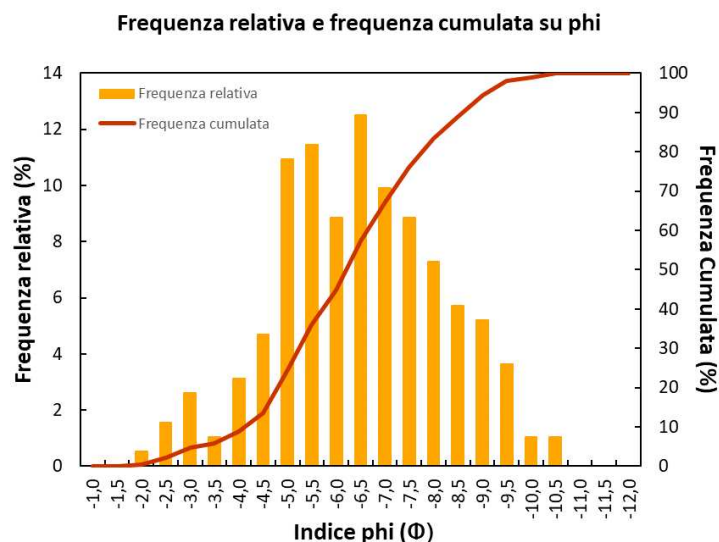


Figura 1.3.3: Come variano le due frequenze a confronto al variare dell'indice phi.

Analizzando questo grafico, rappresentante le curve di un generico campione, si può vedere come la sua distribuzione sia molto eterogenea: l'istogramma delle frequenze relative è, infatti, molto ampio. Inoltre, anche la curva delle frequenze cumulate è allargata e molto distante dalla sinusoide che rappresenta un campione omogeneo.

1.4. Vegetazione

La vegetazione ripariale è la vegetazione spontanea che si insedia lungo le rive dei fiumi, torrenti e ruscelli (Damiani G, 2021). Essa svolge un ruolo fondamentale nell'influenzare il flusso dei corsi d'acqua, i livelli delle acque sotterranee e i climi locali attraverso l'evapotraspirazione. La sua presenza stabilizza e rinforza le sponde, riduce l'erosione del suolo, scava il canale principale e riduce il numero di canali. Bisogna considerare, comunque, che l'influenza delle diverse specie vegetali varia in base a fattori come la profondità delle radici, l'area fogliare e la conducibilità stomatica. È fondamentale, inoltre, che la vegetazione ripariale non si tramuti poi in eccessiva quantità di legname morto in alveo perché, se presente in grandi quantità oltre una certa soglia, ai risaputi effetti positivi del legname si aggiungono anche degli effetti negativi, come danni alle strutture trasversali e aumento della magnitudo del flusso di detriti. Molte delle condizioni create dai processi influenzati dalla vegetazione sono apprezzate dagli esseri umani e sono considerate servizi ecosistemici. Alcuni esempi sono: la stabilizzazione delle rive, l'acqua pulita e falde acquifere ricaricate. Quando una condizione apprezzata declina, l'ecosistema viene definito "degradato". Le successioni della vegetazione possono essere fortemente influenzate dai processi meccanici di sommersione, erosione e sedimentazione durante le piene (Richardson et al., 2007; Picco et al., 2016; Sitzia et al., 2016).

I processi fisici che controllano la dinamica del fiume influenzano, modificando varietà e densità, la vegetazione, che a sua volta influenza la dinamica stessa del fiume. È quindi necessaria un'analisi dettagliata della vegetazione delle barre e delle isole per avere maggiori informazioni sulla stabilità funzionale dell'ecosistema fiume e sulla sua dinamica. È interessante notare come le attività antropiche, come costruzioni di dighe o operazioni di confinamento del corso d'acqua, influenzino di molto la morfologia fluviale. La vegetazione, come detto, è profondamente dipendente dalle condizioni ambientali circostanti e, quindi, anch'essa è influenzata dalle attività umane. Perciò, anche per questa sua stretta dipendenza con la morfologia diventa un parametro importante per la valutazione idromorfologica del fiume (Picco et al., 2016; Sitzia et al., 2016).

Gli ecosistemi fluviali sono altamente inclini all'invasione da parte di piante aliene. Questo è in gran parte dovuto alla dinamica dei fiumi ma anche perché essi forniscono un canale per la dispersione di specie aliene, consentendo un trasporto veloce attraverso zone altrimenti ostili. Inoltre, gli habitat ripariali fungono anche da focolai di specie esotiche che successivamente invadono habitat terrestri adiacenti (Planty -Tabacchi et al., 1996; Richardson et al., 2007; Pysek et al., 2007).

Quando si parla di specie esotiche è importante tenere a mente che, come spesso accade con i cambiamenti nella composizione delle specie vegetali, una maggiore abbondanza di piante esotiche può provocare alterazioni radicali nella struttura e nel funzionamento dell'ecosistema oppure portare a variazioni minime, a seconda delle circostanze (Richardson et al., 2007).

2. Obiettivi

Il fiume Piave, a causa della sua dinamicità, fattore intrinseco nella natura dei fiumi, è soggetto a modificazioni evidenti nella sua morfologia nel corso degli anni.

Il primo obiettivo di questo studio è conoscere come le diverse unità morfologiche variano nel lungo (1960-2023) e medio periodo (2010-2023). Nello specifico, tale variazione è stata misurata lungo tre sezioni, con relative aree di saggio, trasversali del Fiume Piave. A tale scopo, oltre a confrontare il numero di aree di saggio ricadenti in ciascuna unità morfologica, si è proceduto al calcolo della persistenza per ciascuna unità.

Il secondo obiettivo è relativo alla variazione granulometrica. In tal senso, un ulteriore scopo è stato quello di determinare se le dimensioni dei sedimenti siano variate negli anni ed al variare delle unità morfologiche, discretizzando i risultati tra alveo e piana inondabile.

Il terzo obiettivo riguarda, invece, la vegetazione d'alveo e riparia. Lo studio vuole confrontare come il numero di specie erbacee e legnose è variato dal 2010 al 2023 e, in particolare, come varia all'interno di ciascuna unità morfologica, prestando anche attenzione al numero di specie aliene presenti e alla loro percentuale rispetto al numero totale di specie.

3. Materiali e Metodi

3.1 Area di Studio

Il bacino del fiume Piave si estende su di una superficie ampia circa 3899 km² ed ha una lunghezza di 220 km. Le sue sorgenti sono alle pendici del monte Peralba (2639 m) ad una quota pari a 2037 m s.l.m. e la sua foce qualche kilometro a nord di Venezia (Figura 3.1.1 e Figura 3.1.2).

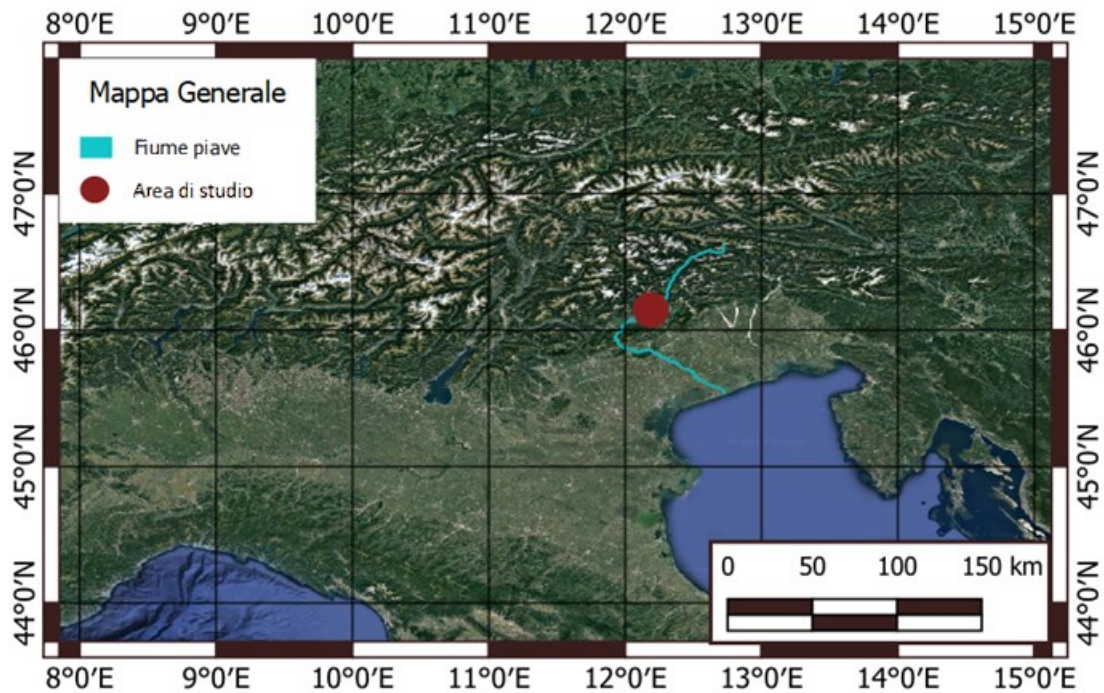


Figura 3.1.1: inquadramento geografico del Fiume Piave e relativa area di studio.



Figura 3.1.2: bacino del fiume Piave (Picco et al., 2016)

La morfologia del Piave è molto cambiata nel corso degli anni: ad oggi è composta da zone a canali intrecciati e zone pseudomeandriiformi (Picco et al., 2012). Questa variazione è dovuta in larga parte all'elevato numero di interventi antropici. In particolare, tra gli anni Trenta e Cinquanta, il suo canale principale è stato modificato a causa della costruzione di numerose dighe che hanno portato alla separazione, in termini di trasporto di sedimenti, del 54% del bacino dalla parte inferiore del Piave. Ciò ha portato, dopo gli anni Ottanta, ad una progressiva evoluzione dei canali intrecciati ad una morfologia rettilinea o pseudomeandriiforme, con un'invasione di vegetazione ripariale nelle zone che una volta erano canali (Sitzia et al., 2016). Il fiume Piave ha, come fonte di alimentazione solida, materiali originati da diverse strutture di deposizione tra cui: depositi alluvionali, depositi glaciali, detriti di falda, accumuli di frana e coltri di degradazione di substrati rocciosi. I depositi alluvionali di fondovalle sono la fonte principale dei materiali che vengono trasportati a valle dal Piave che sono però, ad oggi, stabilizzati e ricoperti da vegetazione arbustiva o arborea (Dal Cin, 1967; Carli, 2013).

Il fiume si può morfologicamente dividere in 3 parti: una zona superiore, che si estende per 62 km dalla sorgente a Longarone, una zona intermedia di 117 km da Longarone a Ponte di Piave, caratterizzata da passaggio e andamento pluricanale, ed infine una zona inferiore di 43 km che arriva fino alla foce, dove il fiume assume un andamento meandriiforme che è però stato reso rettilineo in alcune zone.

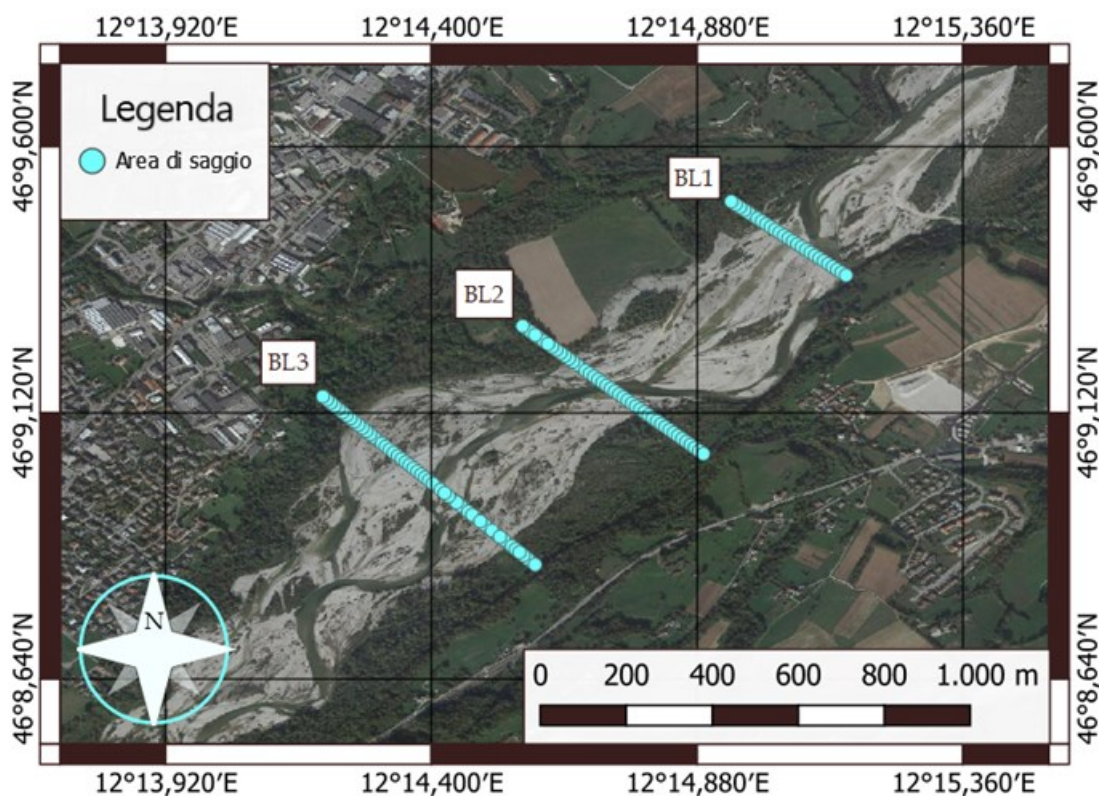


Figura 3.1.3: mappa delle tre sezioni nella quale sono presenti le aree di saggio

Le analisi sono state effettuate in una sub-zona della zona intermedia in provincia di Belluno (come si osserva in Figura 3.1.3), dove il fiume è piuttosto dinamico con frequenti modifiche della morfologia, come migrazioni di canali o spostamenti di barre e isole. Inoltre, nell'area presa in esame il fiume presenta anche un modello complesso di distribuzione vegetazionali (Picco et al., 2016). Questa sub-zona si estende per circa 2 km con un canale attivo di deflusso la cui larghezza massima è di 550 m che presenta una morfologia soprattutto di tipo a canali intrecciati. Il regime idrometrico è caratterizzato da piene autunnali, in corrispondenza della stagione piovosa, e da piene primaverili, sempre legate alle piogge ma anche e soprattutto allo scioglimento delle nevi (Picco et al., 2016; Sitzia et al., 2016). Nel corso degli ultimi due secoli, si è osservato che la maggior parte degli eventi di piena sul fiume Piave si sono verificati nel mese di ottobre e nel mese di novembre, in questi mesi infatti sono avvenute rispettivamente il 50% e il 12% del totale delle piene. Tuttavia, in questi ultimi anni si sta assistendo a fenomeni di precipitazioni intense anche durante i periodi estivi e ciò potrebbe causare alluvioni pericolose anche al di fuori dei periodi tradizionalmente considerati a rischio (Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2010).

3.2 Descrizione delle attività di campo

Le analisi effettuate per il seguente lavoro sono il proseguimento di un precedente studio (Sitzia et al., 2016; Picco et al., 2016; tesi Misuraca). Per tale motivo, la metodologia e le zone analizzate sono le stesse. Si è suddiviso il fiume in tre sezioni trasversali (successivamente denominate BL1, BL2, BL3) e lungo ciascuna di queste sezioni si sono analizzate 27, 44 e 55 aree di saggio, rispettivamente. Le aree di saggio hanno una dimensione di 4mx4m con inter-distanza di 14 m (Figura 3.1.3). Al fine di determinare con precisione la posizione delle aree di saggio precedentemente analizzate si è fatto uso dello strumento dGPS differenziale Topcon HiperPro RTK. Dopo aver determinato la posizione di ciascuna area di saggio, è stata collocata una bandierina (rappresentata in Figura 3.2.1, 3.3.1 e 3.3.2) per indicarne chiaramente il punto centrale. L'attività di rilievo dati in campo si è svolta in 4 uscite nel periodo compreso tra luglio e agosto 2023. In questo contesto, le operazioni di campo possono essere suddivise in tre principali tipologie di analisi, incentrate sulla morfologia, granulometria e vegetazione di seguito descritte nei dettagli.



Figura 3.2.1: foto di campo della sezione BL1 che mostra una barra in primo piano, seguita da un canale, una barra alta e piana inondabile in lontananza. Sono visibili anche le bandierine utilizzate per l'identificazione delle varie aree di saggio

3.3 Analisi morfologiche

Innanzitutto, per comprendere le variazioni morfologiche avvenute dall'ultimo rilievo, si è resa necessaria un'analisi sulle variazioni topografiche e sulla persistenza delle unità morfologiche. In primo luogo, si è proceduto con un rilievo da drone per ricostruire l'attuale profilo dell'alveo e per fare ciò, è stata necessaria inizialmente la definizione dell'area del rilievo. A questo è seguito poi una serie di rilievi LiDAR. Questa tecnica consiste in un rilevamento aereo con cui si possono determinare le coordinate spaziali e la quota dei punti in base al tempo di ritorno di un impulso laser lanciato. Il drone utilizzato per le rilevazioni era dotato di un sensore LiDAR che ha permesso sia la creazione di ortofoto, con una risoluzione 0,015x0,015 m, che del modello digitale avente celle di valore 0,10x0,10, da cui è stata in seguito estratta la sezione trasversale per ciascuna zona di interesse. Questa tecnica non permette, però, di acquisire informazioni per le zone sommerse corrispondenti al canale attivo. Si è resa, quindi, necessaria un'operazione ulteriore. Partendo dall'area di saggio di coordinate XYZ note più vicino al canale attivo, si è proceduto ad un rilevamento del profilo trasversale del canale attivo utilizzando due strumenti: un distanziometro laser (TruPulse 200L) e un prisma stabilmente posizionato su una palina verticale. Il distanziometro laser opera mediante la determinazione della distanza tra il dispositivo stesso e un punto di interesse, sfruttando un prisma che consente la riflessione del segnale emesso dal distanziometro. 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. I dati raccolti sul campo sono stati riportati su di un dataset su Excel al fine di riprodurre le tre sezioni trasversali ed in particolar modo per individuare il Talweg, ovvero il punto di coordinata verticale (y) minore e quindi il punto più profondo della sezione di interesse. Quindi, una volta trovata la posizione del Talweg è stato possibile calcolare le distanze verticali e orizzontali di ogni area di saggio

da esso, creando così una tabella che mostra le posizioni relative di ognuna rispetto al Talweg (in figura 4.1, 4.2 e 4.3 sono visibili le sezioni trasversali delle sezioni BL1, BL2, BL3).

Per definire la persistenza dell'unità morfologica all'interno del fiume Piave, invece, si è proceduto con un'elaborazione dati che ha previsto un'analisi delle aree di saggio in cui sono state effettuate tutte le misurazioni. Mediante l'utilizzo del programma Google Earth Pro le aree di saggio lungo le 3 sezioni sono state classificate individuando le opportune unità morfologiche: piana alluvionale, canale attivo, isola e barra. Queste ultime sono state ulteriormente divise in barre vegetate, barre erbacee o barre nude (Figura 3.3.1 e 3.3.2). L'analisi è stata effettuata per gli anni: 2015, 2019 e 2022. Inoltre, caricando nel programma le ortofoto acquisite da drone nel periodo dei rilievi in campo è stato possibile effettuare la stessa analisi, ma su immagine di maggior dettaglio, anche per il 2023, relativamente alle tre sezioni. Una volta stabilito a quale unità morfologica appartenesse ogni area di studio, si è proceduto con un'analisi della persistenza del fiume, cioè verificare se vi fosse persistenza o meno della tipologia di unità morfologica. Per fare ciò si sono utilizzati anche i dati del 2010 ricavati in un precedente studio (Sitzia et al., 2016; Picco et al., 2016). Tramite Excel, per ogni anno disponibile dal 1960 ad oggi (Tabella 4.1.1), le unità morfologiche sono state isolate per categoria e successivamente confrontate per capire come siano cambiate negli anni (da Figura 4.1.4 e 4.1.5). Dato che fino al 2006 non si hanno informazioni sulla tipologia di barra considerata, è stato fatto un confronto di tutti gli anni solamente per studiare le variazioni della piana inondabile, del canale attivo e dell'isola. Per le barre, invece, è stato fatto uno studio tenendo conto anche della divisione tra barra erbacea, barra vegetata e barra nuda, dal 2010 al 2023.

Per confrontare la persistenza delle tipologie nei diversi anni in esame, ovvero il 2010, 2015, 2019, 2022 e 2023, si sono raffigurati i risultati con l'utilizzo di box plot. Ogni box plot è stato creato verificando per ogni area di saggio la persistenza tra gli anni considerati: ad ogni unità che è rimasta tale si è dato valore 100, a quelle che sono cambiate valore 0. È stata fatta, in seguito, la media delle persistenze per ogni unità morfologica nelle tre sezioni (tali risultati sono presenti nelle figure da Figura 4.1.6 a 4.1.12).



Figura 3.3.1: foto di campo della sezione BL1 che mostra in primo piano una barra erbacea con sullo sfondo un canale, altre barre e la piana inondabile. Sono visibili anche le bandierine utilizzate per l'identificazione delle varie aree di saggio



Figura 3.3.2: foto di campo della sezione BL1 che mostra la piana inondabile e la sua vegetazione. È visibile anche una delle bandierine utilizzate per l'identificazione delle aree di saggio.

3.4 Analisi granulometriche

La caratterizzazione granulometrica ci permette di ottenere dati statistici per interpretare la composizione dei sedimenti delle varie unità morfologiche prese in esame. Essendo un'analisi di un campione della totalità dei sedimenti presenti, è necessario adottare metodologie statistiche. Il campionamento dei sedimenti superficiali e l'elaborazione degli stessi sono avvenuti seguendo le indicazioni riportate da Bunte et al., 2001. Per quanto concerne la raccolta delle granulometrie, sono stati seguiti differenti approcci in base al tipo di sedimento presente in superficie. Per le aree di saggio caratterizzati da sedimenti superficiali grossolani si è utilizzato il metodo numerale per il rilevamento granulometrico. Questo metodo di campionamento parziale permette di analizzare lo strato superficiale tramite un campionamento manuale e in linea utilizzando un calibro, uno strumento di misura con precisione di 0,01 cm per la dimensione degli oggetti. Delle tre dimensioni caratteristiche di ogni sedimento (a,b,c) questo metodo prevede la misurazione dell'asse medio (b) (fare riferimento alla Figura 1.3.1). Innanzitutto, per ogni area di saggio, è stato identificato il sedimento con diametro massimo, quindi, lungo una cordella metrica sono stati prelevati i campioni ad una distanza uguale al doppio di quel diametro. Sono stati rilevati minimo 30 diametri per ogni area di saggio.

Invece, per le aree di saggio con presenza di sabbia o materiale affine, è stato effettuato uno scavo per individuare tre sedimenti grossolani da misurare. Anche in questo caso, sono state misurate le dimensioni medie dei sedimenti grossolani, nonché lo spessore dello strato di materiale fino. Dal rilievo si è ottenuto un dataset con le misure in millimetri dell'asse medio dei diametri presenti nelle aree di saggio. Il primo passaggio è normalizzare i dati utilizzando la scala di Wentworth alla base

della quale c'è l'utilizzo dell'indice phi. L'indice phi viene utilizzato nelle analisi granulometriche per facilitare l'analisi delle curve di frequenza. Si adotta una progressione geometrica di passo 2, in cui i diametri raddoppiano ad ogni classe superiore. Una volta isolati i diametri (D) di una determinata area di saggio, essi vengono trasformati in ϕ (Formola 3.4.1), e divisi in classi. Si calcola la numerosità (n) per la classe e il totale dei campioni (N), si calcola la frequenza relativa (Formola 3.4.2) e la frequenza cumulata (Formola 3.4.3).

Formola 3.4.1: $\phi = -\log_2 D$

Formola 3.4.2: $f = \frac{n}{N} * 100$

Formola 3.4.3: $Fi = f_i + F_{i-1}$

Data la Frequenza cumulata (F) abbinata alla classe corrispondente è possibile calcolare i diametri caratteristici di diverse distribuzioni granulometriche chiamati anche percentili (con Formola 3.4.4). Essi saranno espressi come indice phi e quindi andranno riconvertiti in millimetri (Formola 3.4.5 derivata dalla 3.4.1).

Formola 3.4.4: $\phi_x = \phi_{inf} + \frac{\phi_{sup} - \phi_{inf}}{F_{sup} - F_{inf}} \cdot (F_x - F_{inf})$

Formola 3.4.5: $D_x = 2^{-\phi_x}$

Formola 3.4.6 : $\sigma = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}}$

Una volta ottenuti tali risultati, si è proceduto alla computazione del sedicesimo percentile (D16), del diametro mediano (D50) e dell'ottantaquattresimo percentile (D84) granulometrico. Poi si sono isolate le aree di saggio per unità morfologica e tra esse si è fatta una media dei percentili, in modo tale da ottenere un D16 medio, un D50 medio e un D84 medio per ogni unità morfologica. Per ogni unità morfologica con i suoi percentili è stata calcolata, mediante la Formola 3.4.6, la deviazione standard granulometrica. Questo valore permette di individuare numericamente l'eterogeneità o omogeneità del campione e serve per capire se la distribuzione dei diametri è uniforme. Con tali valori si è ottenuto una curva per ogni unità morfologica (Figura 4.2.1) per osservare se il diametro dei sedimenti, per diverse unità morfologiche, varia allo stesso modo. Inoltre, è stato eseguito un confronto tra tutti i diametri delle diverse sezioni, per valutare se essi fossero statisticamente diversi. Per verificare i diversi dati, ogni confronto è stato accompagnato dal Test T di Student che stabilisce come ipotesi nulla che le medie dei due gruppi analizzati siano uguali e se, quindi, i due gruppi facciano parte dello stesso popolamento statistico. Infine, con l'aiuto di box plot, si è confrontato come sono variati i D50 dal 2010 al 2023 effettuando un confronto con i D50 di tutte le aree di saggio nei due anni e i D50 divisi per ogni sezione.

3.5 Analisi vegetazionali

Per effettuare il rilevamento della vegetazione presente nelle aree di saggio, è stato effettuato un rilievo di tipo fitosociologico che ha portato, previa redazione di un foglio di campo, alla registrazione di tutte le specie vegetali presenti e alla loro concentrazione in ogni area. La concentrazione si è stimata grazie all'indice di copertura, che assegna un valore numerico ad ogni specie in base al numero di individui di ognuna presenti nell'area di saggio. Successivamente, i dati sono stati trascritti su Excel e sono state individuate le specie legnose ed erbacee; da questo elenco di specie, inoltre, si sono poi individuate le specie esotiche. Si è deciso di usare questa denominazione in quanto usata anche nelle precedenti pubblicazioni. Sono state incluse nell'insieme anche specie alloctone invasive, a impatto non noto o naturalizzate. È stato fatto poi il confronto del numero di specie medio per area dal 2010 al 2023, sia per le specie erbacee che per le legnose che per le invasive.

Infine, sono stati realizzati dei box plot per osservare, per ogni unità morfologica, la distribuzione del numero di specie per le tre categorie (specie erbacea, specie legnose e specie esotiche) per l'anno 2010 e l'anno 2023 e per osservare se il numero di specie tra i due anni è effettivamente cambiato. Il confronto è stato accompagnato dal Test T di Student.

4. Risultati e Discussioni

4.1 Analisi morfologica e persistenza fluviale

Le figure 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 mostrano come varia, per ogni sezione, l'altezza da un'area di saggio ad un'altra. Nella sezione BL1, il Talweg si trova subito dopo l'area di saggio 27 a circa 1,5m sotto il pelo libero, nella sezione BL2, si trova tra l'area di saggio 20 e l'area di saggio 21 a circa 1m sotto il pelo libero e anche nella sezione BL3, è a 1m sotto il pelo libero e situato nell'area di saggio 29.

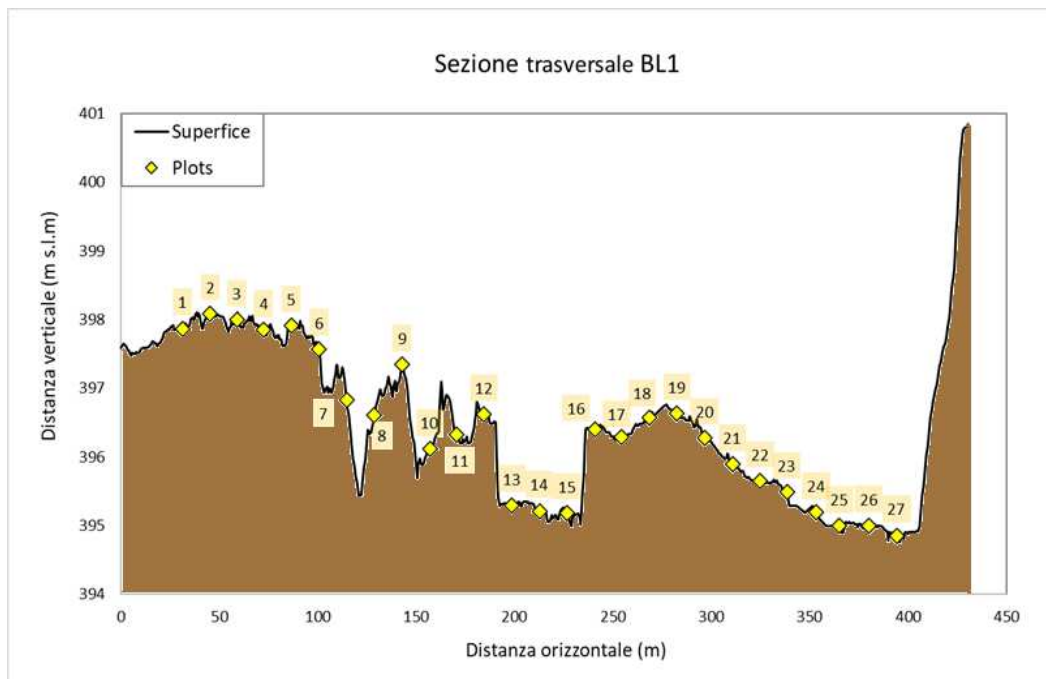


Figura 4.1.1: Sezione trasversale BL1

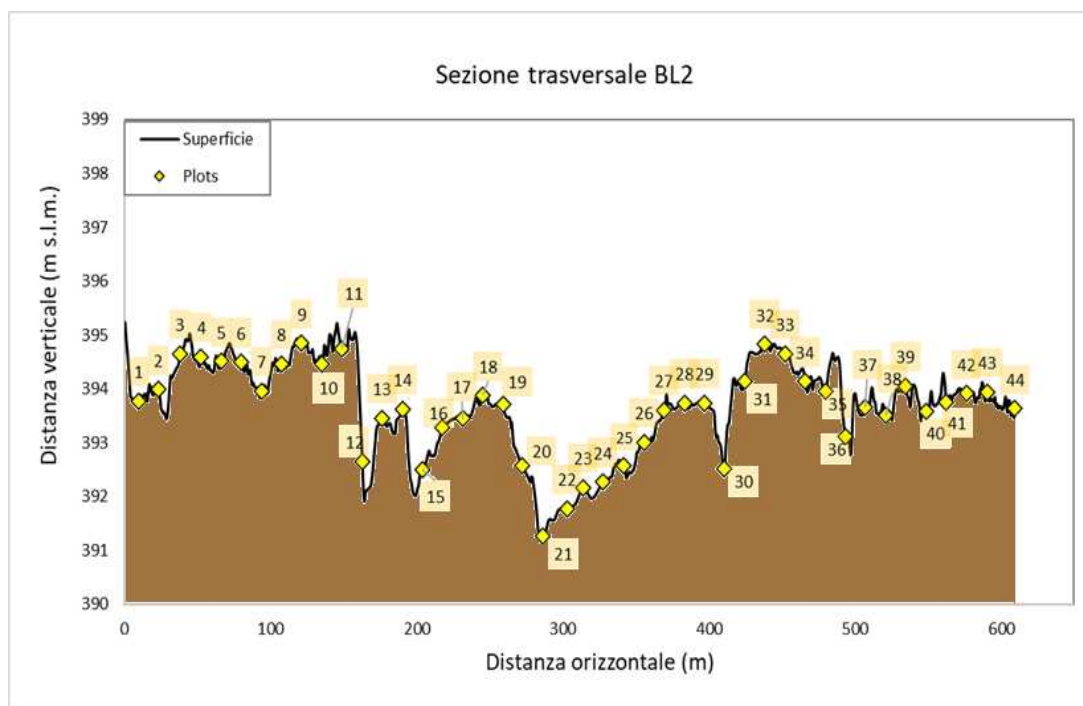


Figura 4.1.2 Sezione trasversale BL2

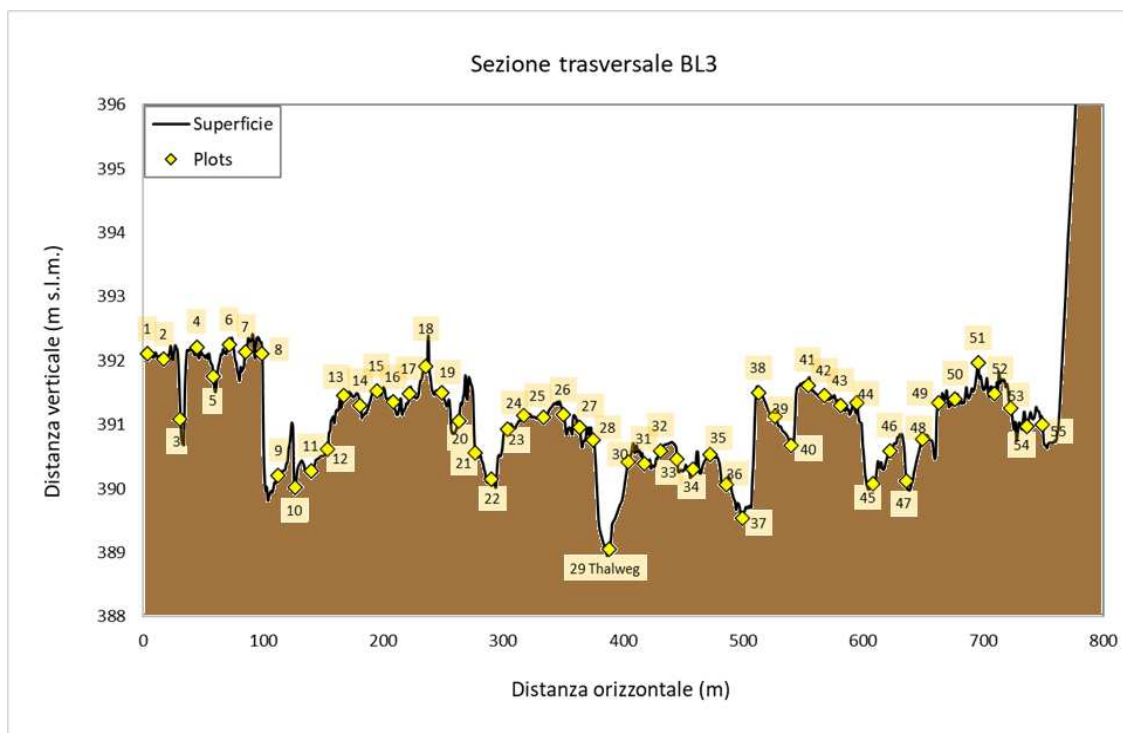


Figura 4.1.3: Sezione trasversale BL3

Tabella 4.1.1: numero di aree di saggio rinvenute sulle diverse unità morfologiche durante il periodo 1960-2023.

	1960	1970	1980	1991	1999	2006	2010	2015	2019	2022	2023	media	dev.st.
Piana inondabile	36	36	46	42	41	32	34	53	48	48	48	42,2	6,9
Barra nuda							33	3	11	16	20	16,6	11,1
Barra erbacea							14	57	45	36	31	36,6	16,0
Barra vegetata							15	1	5	16	17	10,8	7,3
Canale attivo	8	12	6	5	10	7	14	7	12	10	10	9,2	2,8
Isola	15	10	9	30	28	29	16	5	5	0	0	13,4	11,3

I dati raccolti vanno da 1960 al 2023: grazie ad essi è stato possibile effettuare i grafici in Figura 4.1.4 e 4.1.2. Questi grafici sono un confronto di come il numero di aree di saggio, classificate come piana inondabile, canale attivo e isola, siano cambiate nel corso degli anni (1960-2023).

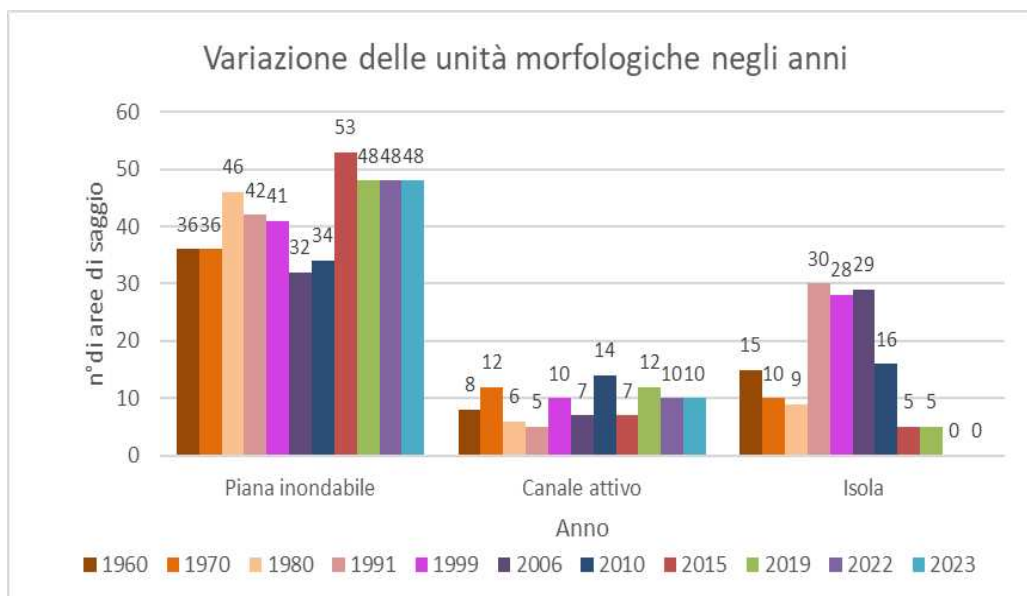


Figura 4.1.4: grafico a barre che mostra come cambia la distribuzione delle unità morfologiche dal 1960 ad oggi.

Il grafico riporta il cambiamento delle unità morfologiche riconosciute come piana alluvionale, canale attivo e isole.

L'isola è quella che tra tutte ha subito maggiori fluttuazioni nel tempo, passando da un massimo di 30 aree nel 1991 a 0 aree nel 2022 e 2023. Interessante notare che la piana alluvionale ed il canale attivo hanno subito una grande variazione dal 1970 al 1980 mentre le isole, nello stesso periodo, siano rimaste più stabili.

Parlando nello specifico della piana inondabile si nota un aumento significativo del numero di tali aree di saggio nel corso degli anni, passando da 36 nel 1960 a 53 nel 2015. Tuttavia, nel 2006 e nel 2010 si può osservare una brusca diminuzione, invertita, però, nel 2015 con una forte crescita. Questo è motivabile affermando che il fiume, con il tempo, ha cambiato percorso aumentando, rispetto al passato, le aree di saggio all'interno della piana inondabile.

Il numero di aree di saggio facenti parte del canale attivo sono molto variate negli anni, aumentando e diminuendo continuamente, registrando al 2023 un aumento netto rispetto al 1960. Per quanto riguarda le isole, invece, all'interno delle nostre tre sezioni, il numero di aree di saggio definite tali ha subito molte oscillazioni. I valori sono in leggera diminuzione fino al 1991, quando si registra un aumento da 9 a 30. Nell'ultimo periodo le aree di saggio comprendevano poche isole e nell'anno 2023 sono state trovate zero aree facenti parte di questa categoria (possibile motivazione in figura 4.1.5).

Infine, dal 1960 al 2023, da un punto di vista statistico si può affermare (Tabella 4.1.1) che ci sono state in media circa 42 aree di saggio nella piana alluvionale, con deviazione standard di circa 7, 9 nel canale attivo, con deviazione standard di 2,8 e 13 nelle isole, con deviazione standard di 11,3.

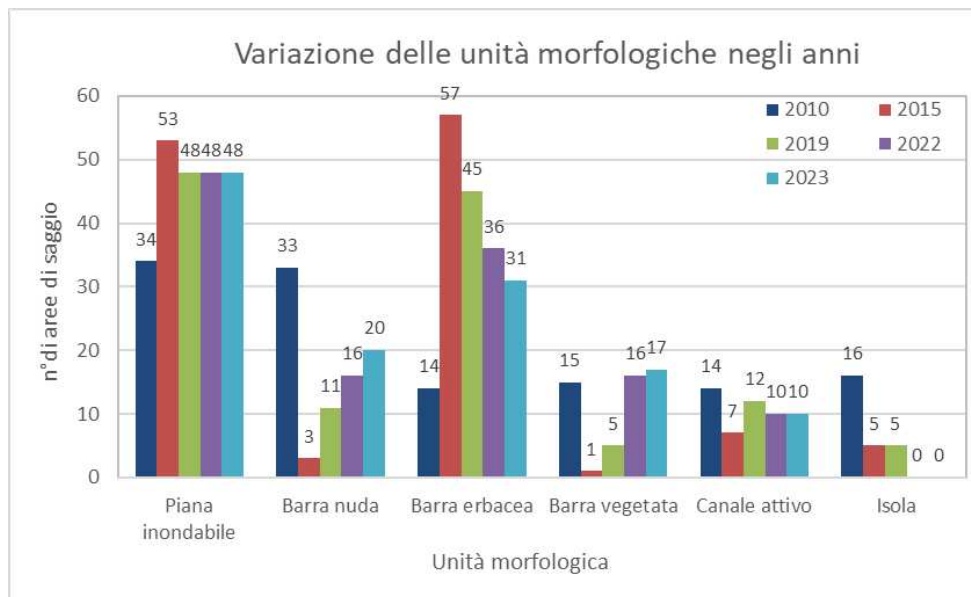


Figura 4.1.5: grafico a barre che rappresenta la distribuzione delle unità morfologiche degli anni 2010, 2015, 2019, 2022 e 2023

Analizzando la figura 4.1.5, si può notare come le aree di saggio riconosciute come piana alluvionale sono rimaste costanti negli ultimi quattro anni (2019-2023) mentre il numero di aree di saggio corrispondenti ai canali è complessivamente diminuito.

Esaminando nel dettaglio le barre e le loro variazioni, si può notare come il numero di aree di saggio definite barre erbacee e vegetate dal 2015 al 2023 sia aumentato passando, rispettivamente, da 3 a 20 e da 1 a 17 mentre come contemporaneamente le barre nude siano pian piano diminuite, passando da 57 a 31. A partire dal 2015, quindi, le barre nude sono notevolmente diminuite e sono state progressivamente sostituite dalle barre erbacee e vegetate. Questo andamento non si registra a partire dal 2010, che ha dei dati in controtendenza rispetto agli anni successivi. Ciò è probabilmente dovuto a causa del fenomeno di piena intenso che ha colpito il Piave nel 2014, disturbo che potrebbe anche aver innescato il cambiamento che sta intercorrendo dal 2015 ad oggi. (fonti ottenute dal sito arpa.veneto.it)

Inoltre, nel 2023 le isole sono scomparse. L'analisi dei dati mostra, quindi, che il fiume ha avuto importanti cambiamenti morfologici nel corso degli anni. Le isole sono state la categoria più variabile, mentre la piana alluvionale e il canale attivo sono rimasti relativamente stabili. Nel complesso, si sono osservate fluttuazioni significative nel numero di aree di saggio per ciascuna categoria, possibilmente a causa di eventi di piena e variazioni nel flusso del fiume. Ulteriori ricerche sono necessarie per una comprensione più approfondita di tali cambiamenti e delle loro implicazioni sulla gestione del fiume. Le figure da 4.1.6 a 4.1.12 valutano, mediante i box plot, la variazione della persistenza negli anni per ogni unità morfologica e, quindi, l'evoluzione intercorsa al fiume nei vari anni.

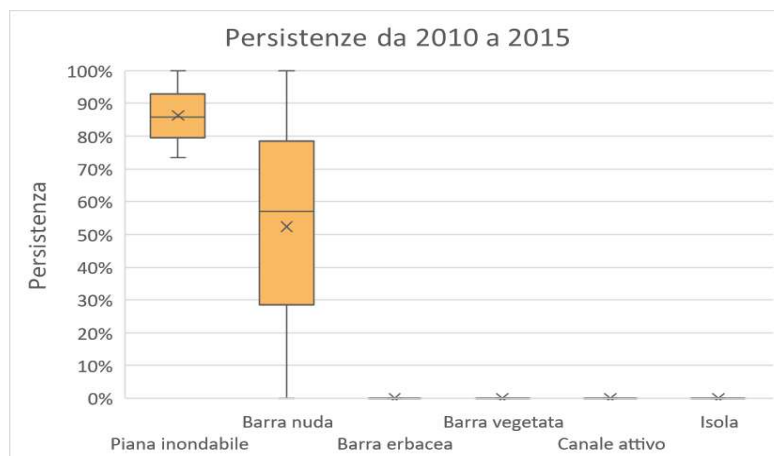


Figura 4.1.6: persistenza tra gli anni 2010-2015

In figura 4.1.6 si osserva che, nelle aree di saggio analizzate, la piana inondabile ha persistenza media del 86%, con un valore massimo del 100% e un valore minimo del 73%. Questi valori indicano una buona stabilità delle caratteristiche morfologiche in quest'area. Le barre nude, invece, mostrano una maggiore variabilità e cambiamenti nel tempo. Infatti, il valore medio è del 52%, abbinato a un valore massimo del 100% e un valore minimo dello 0%. Il canale attivo, le barre vegetate, le barre erbacee e le isole hanno una persistenza dello 0%, suggerendo che queste unità morfologiche sono più soggette a modifiche nel tempo.

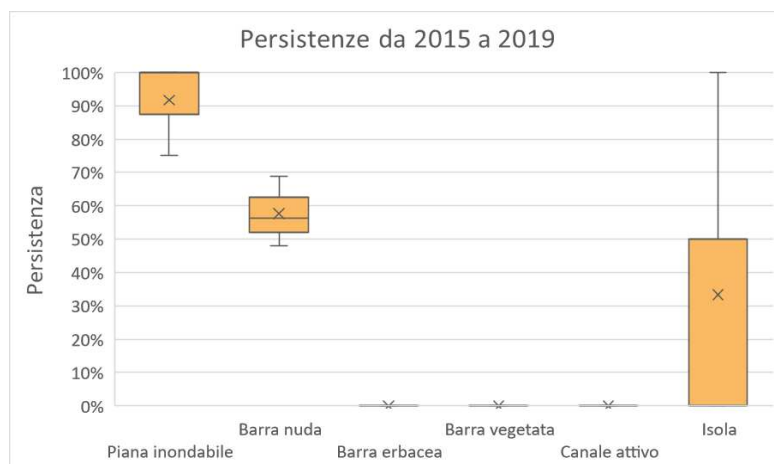


Figura 4.1.7: persistenza tra gli anni 2015-2019

Nel periodo 2015-2019 (Figura 4.1.7), la persistenza media della piana inondabile aumenta al 92%, indicando una maggiore stabilità rispetto al periodo precedente. Il valore massimo di persistenza è 100% e il valore minimo è 75%. Anche le barre nude mostrano un miglioramento della persistenza, con una media del 58%, un valore massimo del 69% e un valore minimo del 48%. Per il canale attivo, le barre vegetate e le barre erbacee, la persistenza delle unità morfologiche è dello 0%. Questo può essere in buona parte dovuto alla distanza di quattro anni che intercorre tra le due misurazioni. Inoltre, nel 2015 è presente una sola barra vegetata e tre barre erbacee: queste ultime nel 2019 si

sono tutte trasformate in vegetate per la mancanza di disturbi. L'isola ha persistenza media del 33%. Tale valore deriva dal fatto che l'unica isola presente si trova nella sezione BL3 e si è mantenuta negli anni, ma dato che nella BL1 e BL2 non sono presenti isole, nel box plot otteniamo tale distribuzione.

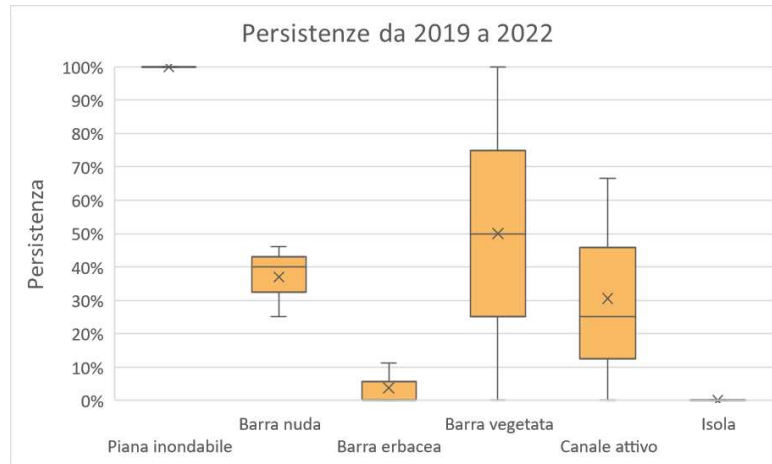


Figura 4.1.8: persistenza tra gli anni 2019-2022

Nel periodo 2019-2022 (Figura 4.1.8), la persistenza della piana inondabile è del 100% in tutte le sezioni, suggerendo una stabilità completa delle caratteristiche morfologiche. Nelle barre nude, la persistenza media è del 37%, con un valore massimo del 46% e un valore minimo del 25%. Nelle barre erbacee, la persistenza media è del 4%, il valore massimo è 11% e il minimo è 0%. Nelle barre vegetate, la persistenza media è del 50%. Per il canale attivo, la persistenza media è del 31%, il valore massimo è 67% e il minimo è 0%. Si può notare come complessivamente la persistenza delle unità morfologiche sia aumentata rispetto ai periodi precedenti, probabilmente a causa della mancanza di disturbi significativi. La persistenza delle isole è dello 0%: questo può indicare cambiamenti significativi sulla morfologia che hanno portato alla scomparsa delle isole dalle nostre aree di saggio, anche se nel tratto comprendente le tre sezioni analizzate (fuori dalle aree di saggio) è comunque osservabile un'isola.

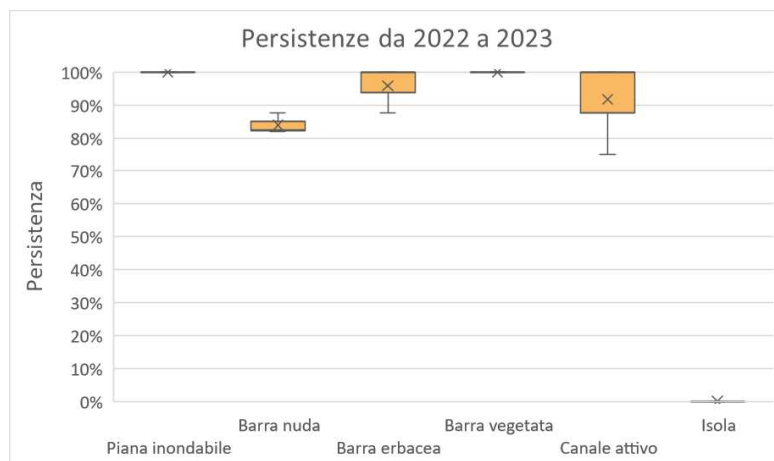


Figura 4.1.9: persistenza tra gli anni 2022-2023

Essendo trascorso solamente un anno tra le due rilevazioni, dal 2022 al 2023 la persistenza è molto alta per tutte le morfologie. Infatti, la piana inondabile persiste al 100% in tutte le sezioni, indicando una stabilità completa. Nelle barre nude, la persistenza media è del 84%, con un valore massimo del 88% e un valore minimo del 82%. Le barre erbacee mantengono una persistenza media del 96%, mentre le barre vegetate persistono al 100% in tutte le sezioni. Il canale attivo mostra una persistenza media del 92%, suggerendo una buona stabilità nel breve periodo che separa il 2022 e 2023. La persistenza delle isole è dello 0% e vale lo stesso ragionamento fatto per le isole del periodo precedente (Figura 4.1.8).

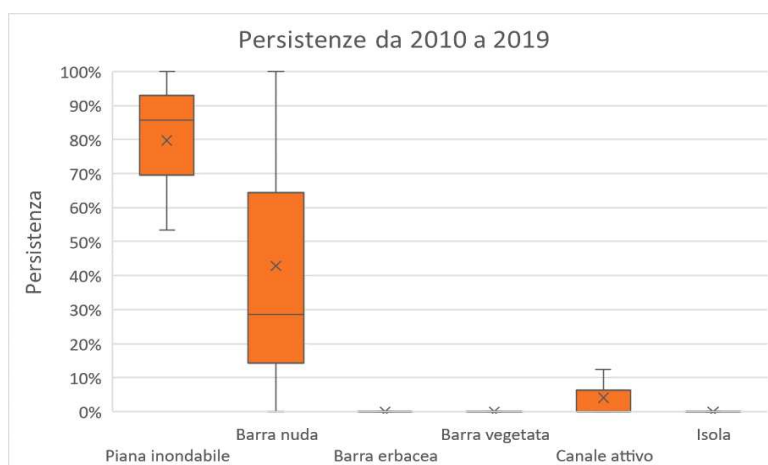


Figura 4.1.10: Persistenza tra gli anni 2010-2019

Nel periodo 2010-2019 (Figura 4.1.10), la persistenza media della piana inondabile è stata del 80%, con variazioni significative tra le diverse sezioni: un valore massimo pari a 100% e un valore minimo pari a 53%. Nelle barre nude, la persistenza media è del 43%, con un valore massimo del 100% e un valore minimo dello 0%. La persistenza delle barre erbacee, delle barre vegetate e delle isole è dello 0%. Il canale attivo ha una persistenza media del 4%, indicando modifiche significative nelle caratteristiche morfologiche.

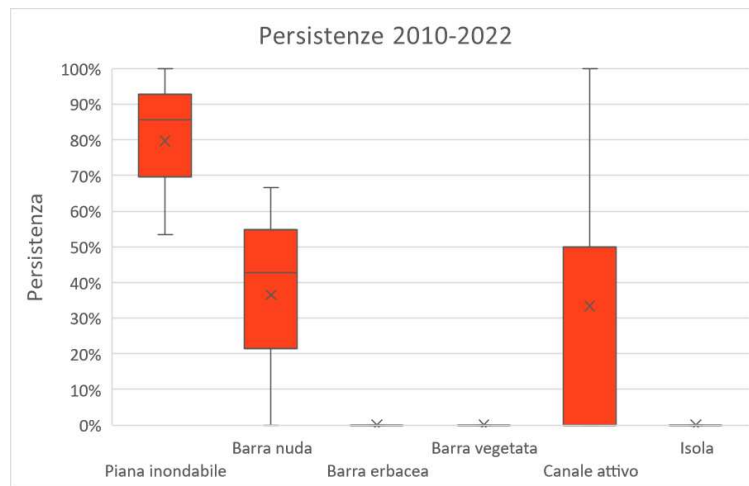


Figura 4.1.11: persistenza tra gli anni 2010-2022

Nel periodo 2010-2022 (Figura 4.1.11), la persistenza della piana inondabile è del 80%, con variazioni significative tra le sezioni. Il valore massimo è 100% e il valore minimo è 53%. Nelle barre nude, la persistenza media è del 37%, con un valore massimo del 67% e un valore minimo del 0%. Questo indica un maggior grado di cambiamenti e variabilità. La persistenza delle barre erbacee, delle barre vegetate e delle isole è dello 0%. Per il canale attivo, la persistenza media è del 33%.

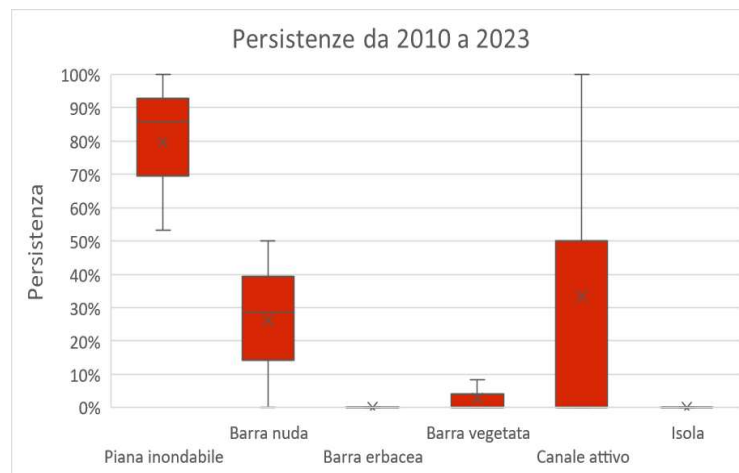


Figura 4.1.12: persistenza tra gli anni 2010-2023

Nel periodo 2010-2023 (Figura 4.1.12), la persistenza della piana inondabile è del 80%, con variazioni significative tra le sezioni. Il valore di persistenza massimo è 100% mentre il valore minimo è 53%. Le barre nude mostrano una persistenza media del 26%, con un valore massimo del 50% e un valore minimo dello 0%. Nelle barre vegetate, la persistenza media è del 3%. Per il canale attivo, la persistenza media è del 33%, mentre la persistenza delle isole è dello 0%. Questi dati sono particolarmente importanti perché le successive analisi di vegetazione verranno fatte confrontando il 2010 con il 2023.

In sintesi, i risultati evidenziano una certa variabilità nel corso degli anni della persistenza delle diverse unità morfologiche, con la piana inondabile che tende ad essere più stabile mentre le barre

nude e le formazioni vegetate mostrano una maggiore variabilità nel tempo, in accordo con il precedente studio di Sitzia et al.,2016. Tra le barre, quelle con maggiore persistenza sono spesso state le barre nude. Significativo è, inoltre, il fatto che le barre vegetate abbiano avuto elevata persistenza nel periodo 2019-2022. Si è osservata un'interazione tra l'aumento delle barre vegetate ed erbacee con la riduzione delle barre nude a partire dal novembre 2015, periodo della rinnovazione. Questo rappresenta l'evoluzione del fiume dopo un disturbo che è stato individuato nella piena del giugno 2014. (fonti ottenute dal sito arpa.veneto.it)

4.2 Granulometria

Il confronto tra i diametri raccolti nel 2023 nella sezione BL1, BL2 e BL3 si può riassumere dicendo che la media dei diametri delle sezioni BL1 e BL3 è statisticamente significativa (t-test, p-value<0,05), mentre si può affermare che la media dei diametri tra le sezioni BL1 e BL3 e tra BL2 e BL3 non è statisticamente significativa (t-test, p-value>0,05). Questo può essere motivato dal fatto che le sezioni hanno quantità e distribuzione di unità morfologiche molto diverse tra loro.

Viene ora effettuato, sempre per l'2023, un confronto tra le variazioni delle classi diametriche D16, D50 e D84 della granulometria nelle diverse sezioni ed in particolare nelle diverse barre.

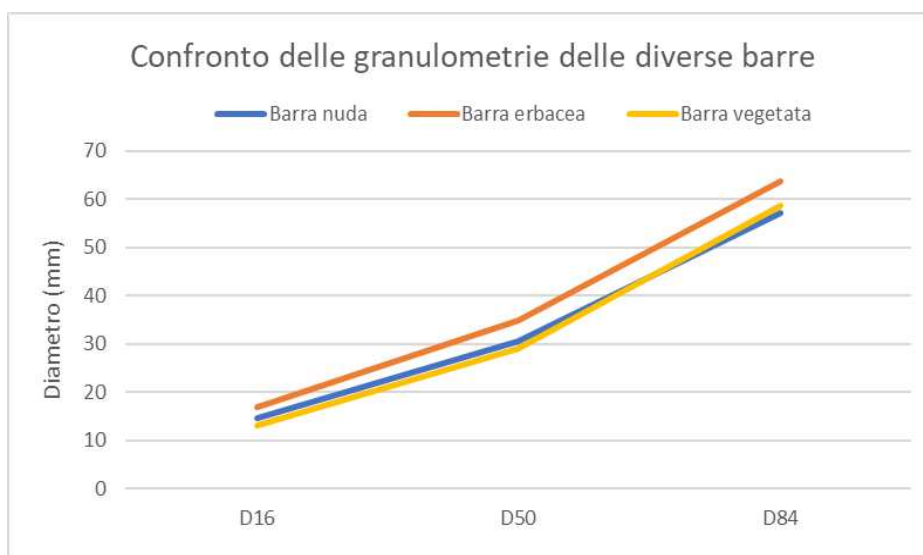


Figura 4.2.1: grafico a linee per il confronto della variazione della granulometria nelle diverse barre.

Il grafico in figura 4.2.1 mostra tre curve con andamento apparentemente simile che, invece, presentano differenze deducibili anche dalla diversa deviazione standard dei tre campioni, che per la barra nuda è di 1,98, per la barra erbacea di 1,95 e per la barra vegetata di 2,11. Queste deviazioni standard però dicono che il materiale delle barre risulta essere in tutti i casi eterogeneo.

I dati ottenuti attraverso l'analisi mostrano la barra nuda con la classe diametrica D50 di 30,68 mm, la barra erbacea con D50 di 34,77 mm e la barra vegetata con 29,16 mm. Si nota come nella barra vegetata siano presenti, quindi, sedimenti con i diametri più piccoli tra le tre barre, mentre nell'erbacea i più grandi. Generalmente, si riscontrano queste caratteristiche non solo con il D50, ma anche con il D16 e D84: si può quindi dire che la barra vegetata presenta sedimenti con diametri solitamente inferiori rispetto alle barre nuda ed erbacea. Complessivamente, i diametri nelle diverse unità morfologiche nel 2023 variano perciò in maniera diversa.

Per i confronti riportati nelle figure 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5 si sono solo usati i D50 ottenuti dal campionamento dei sedimenti superficiali. Un limite importante da evidenziare è il fatto che dell'anno 2010 sono noti solo i dati del D50 per ogni area di saggio invece del dataset completo. Non è stato possibile, quindi, confrontare direttamente i diametri come fatto per il 2023.

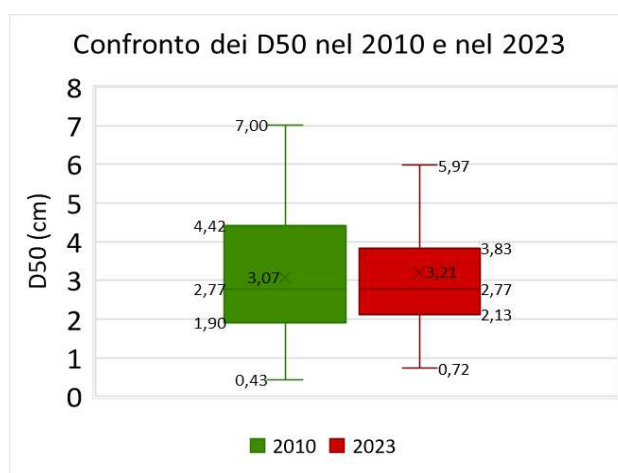


Figura 4.2.2: confronto della distribuzione dei D50 in tutte le aree di saggio nel 2010 e nel 2023

La media dei D50 nel 2010 è 3,07 cm mentre nel 2023 la media dei D50 è di 3,21 cm. I risultati del test t, però, mostrano come questa differenza possa essere dovuta al fatto che i dati raccolti sono solo un campione del popolamento totale ed essi possano comunque far parte dello stesso popolamento statistico. Tale diametro corrisponde, nella classificazione di Wentworth (Figura 1.3.2), a ghiaia grossolana.

Tabella 4.2.1: risultato del test t-student per il confronto tra il D50 negli anni 2010 e 2023

Test t: due campioni assumendo varianze diverse D50 di tutte le sezioni confrontato nei 2 anni			
	2010	2023	
Media	3,065549	3,209139	
Varianza	2,395661	2,383275	
P(T<=t) una coda	0,256731		>0,05

Le osservazioni effettuate nel 2010 sono state 48 e nel 2023 64. Il P-value risulta essere maggiore di 0,05 e di conseguenza il test t effettuato non è significativo e non si può affermare che i due gruppi sono statisticamente diversi.

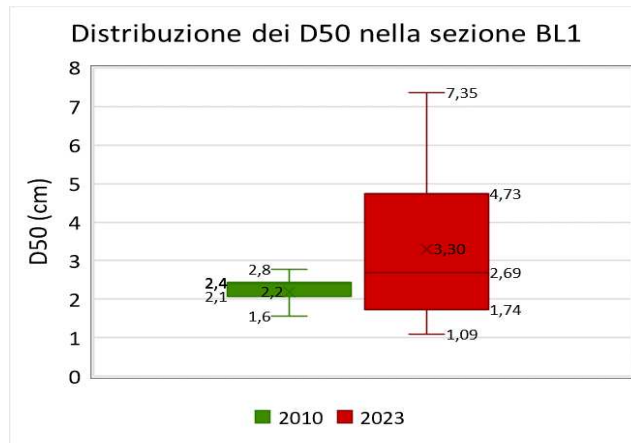


Figura 4.2.3: confronto della distribuzione dei D50 nella sezione BL1 nel 2010 e nel 2023

La media dei D50 nella sezione BL1 nel 2010 è 2,20 cm mentre nel 2023 risulta essere di 3,30 cm. Dall'analisi effettuata tramite test t-student si ottiene che i due campioni sono statisticamente diversi. Infatti, il P-value risultante di 0,018 è inferiore a 0,05; si può rifiutare l'ipotesi nulla e affermare con sicurezza maggiore del 95% che i due campioni sono statisticamente diversi. Nella classificazione di Wentworth (Figura 1.3.2) tali diametri corrispondono rispettivamente a ghiaia grossolana e molto grossolana.

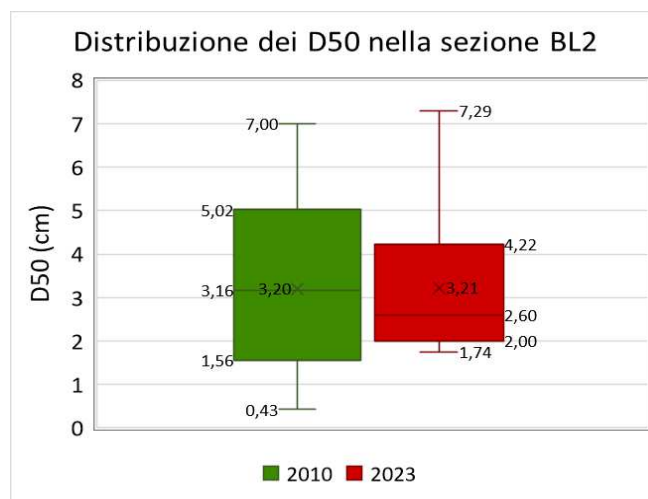


Figura 4.2.4: confronto della distribuzione dei D50 nella sezione BL2 nel 2010 e nel 2023

Nella sezione BL2 la media dei D50 nel 2010 è 3,20 cm mentre nel 2023 la media dei D50 è di 3,21 cm. Dall'analisi effettuata tramite test t-student si ottiene che i due campioni non sono statisticamente diversi. Infatti, il P-value risulta essere di 0,489, quindi superiore a 0,05. Si deve, quindi, accettare l'ipotesi nulla e affermare che i campioni sono simili. Tale diametro corrisponde, nella classificazione di Wentworth (Figura 1.3.2), a ghiaia grossolana.

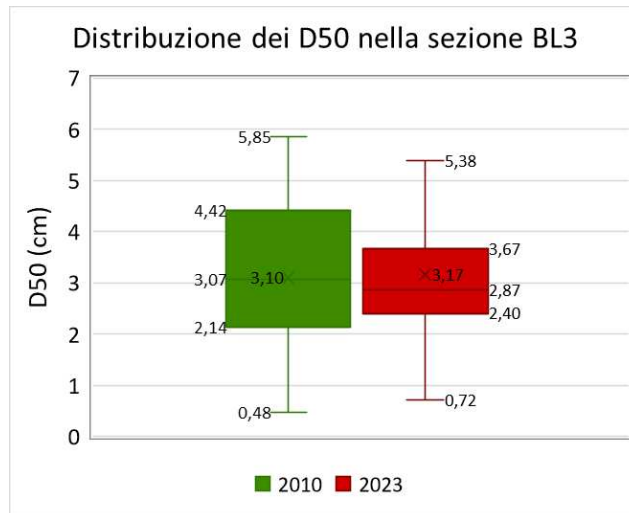


Figura 4.2.5: confronto della distribuzione dei D50 nella sezione BL3 nel 2010 e nel 2023

Nella sezione BL3 la media dei D50 nel 2010 è 3,10 cm mentre nel 2023 la media dei D50 è di 3,17 cm. Dall'analisi effettuata tramite test t-student si ottiene che i due campioni non sono statisticamente diversi. Infatti, il P-value risulta essere di 0,42, quindi superiore a 0,05. Si deve, quindi, accettare l'ipotesi nulla e si deve affermare che i campioni sono simili. Tale diametro corrisponde, nella classificazione di Wentworth (Figura 1.3.2), a ghiaia grossolana.

Quindi si può affermare che, nel tempo, le sezioni BL2 e BL3 non hanno cambiato la loro granulometria. La granulometria presenta, quindi, una distribuzione molto eterogenea con un D50 corrispondente a ghiaia grossolana, passando dal D16 corrispondente a ghiaia media al D84 corrispondente a ciottoli piccoli (Figura 4.2.1).

4.3 Vegetazione

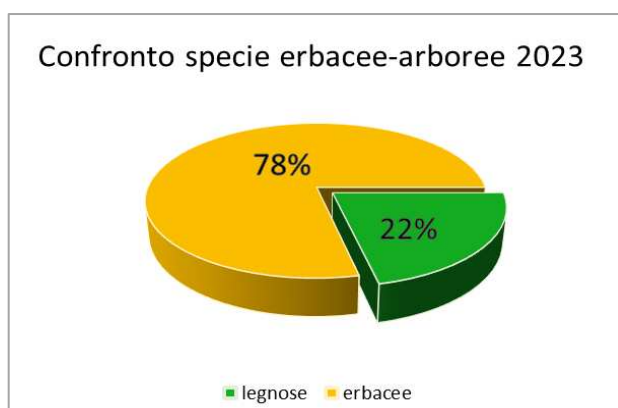


Figura 4.3.1: confronto tra numero di specie legnose ed erbacee nel 2023 in un grafico a torta

Il grafico mostra le percentuali di diffusione delle due diverse specie, legnose ed erbacee, nelle varie unità morfologiche nel 2023. Si nota come ci sia una spiccata maggioranza di specie erbacee. Per poter affermare, invece, che le piante erbacee sono presenti in maggiore quantità rispetto alle arboree, sarà necessario effettuare uno studio ulteriore basato sulla copertura.

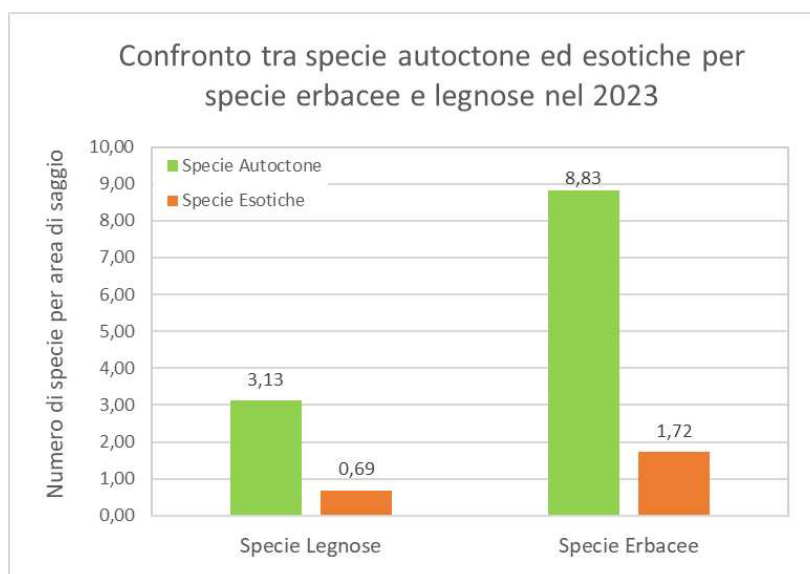


Figura 4.3.2: confronto tra specie autoctone ed esotiche per le specie erbacee e legnose nel 2023 in un grafico a barre

Nel 2023, le specie legnose classificabili come autoctone sono 3,13, mentre le specie erbacee di questa categoria sono 8,83. Le specie esotiche legnose sono in media 0,69 specie per area di saggio e quindi, rispetto al totale delle legnose, corrispondono al 18%, mentre quelle erbacee sono 217, cioè il 16% delle specie erbacee presenti. Quindi, nonostante siano presenti più specie esotiche erbacee in percentuale, il numero di esotiche legnose è maggiore. Sapendo che le specie esotiche totali nel 2023 sono in media 2,4, si può affermare che esse sono composte per il 71% da specie erbacee e per il 29% da specie legnose.

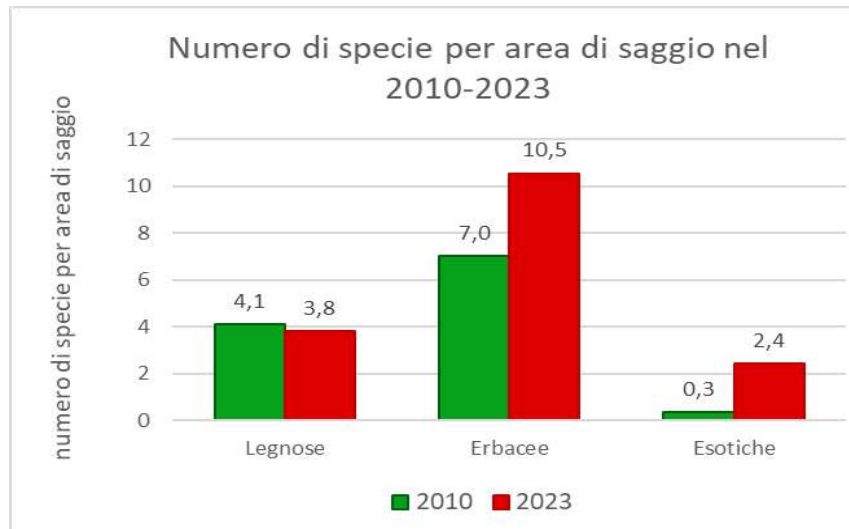


Figura 4.3.3: confronto delle medie per ogni tipologia di specie dal 2010 al 2023

Dal grafico 4.3.3 è possibile osservare come la media del numero di specie presenti per area di saggio sia cambiata nel corso degli anni. Nel 2010 si ottiene una media di circa 11 specie totali per area di saggio; invece, nel 2023 le specie diventano quasi 17. In particolare, rispetto al 2010, nel 2023 si nota una leggera diminuzione del numero di specie legnose a fronte di un aumento delle specie erbacee e di quelle esotiche. Rapportando il numero di specie esotiche col totale, si evidenzia un aumento anche percentuale della diffusione di queste ultime nei due anni, passando dal 3% al 17%. Questo cambiamento, quindi, non è giustificabile solamente dall'aumento del numero totale di specie. La motivazione potrebbe trovarsi nella propagazione delle specie già presenti o nella grande capacità di trasporto di semi all'interno dell'alveo (Damiani, 2021) o potrebbe avere origine antropica, con specie esotiche introdotte più o meno accidentalmente dall'uomo.

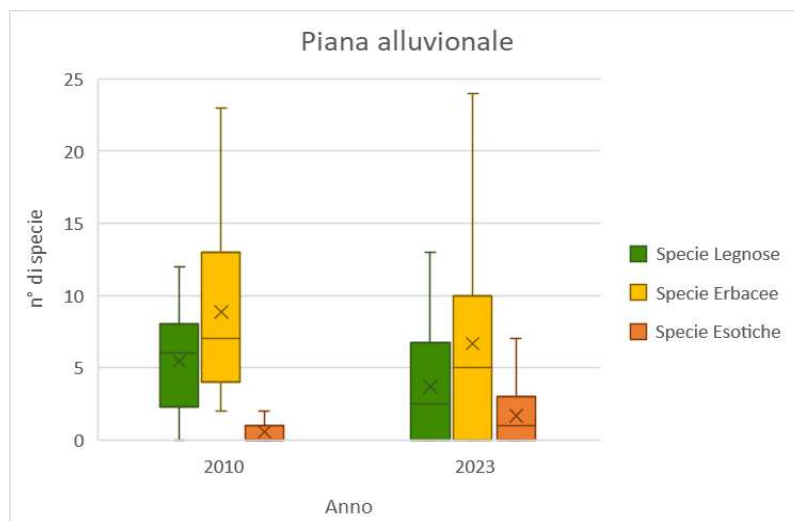


Figura 4.3.4: grafico nel quale viene mostrata la distribuzione del numero di specie per le tre categorie per l'anno 2010 e 2023 per l'unità morfologica della piana alluvionale.

Nelle aree di saggio classificate come piana alluvionale, la quantità di specie legnose ed esotiche nei due anni risulta essere statisticamente diversa. Per quanto riguarda le specie erbacee, avendo P-value uguale a 0,06 (come si può vedere nella Tabella 4.3.1), tra i due anni non c'è differenza significativa; quindi, negli anni, il loro numero è rimasto simile.

Tabella 4.3.1: risultato del test t-student per le aree di saggio con la piana alluvionale come unità morfologica.

Piana inondabile	Test t: due campioni assumendo varianze diverse							
	Specie Legnose		Specie Erbacee			Specie Esotiche		
	2010	2023		2010	2023		2010	2023
Media	5,46	3,69	Media	8,85	6,67	Media	0,54	1,67
Varianza	9,74	16,22	Varianza	35,40	59,59	Varianza	0,47	4,61
P(T<=t) una coda	0,010777		P(T<=t) una coda	0,066119		P(T<=t) una coda	0,000324	

Dalla tabella 4.3.1 è possibile stabilire con precisione la media di specie legnose, erbacee ed esotiche per ogni area di saggio classificata come piana inondabile nei due anni in esame. Infatti, nel 2010 si hanno in media oltre 5 piante legnose, oltre 8 piante erbacee e meno di una esotica per area di saggio classificata come piana alluvionale. Nel 2023, invece, si nota una diminuzione delle legnose ed erbacee, con rispettivamente oltre 3 e 6 piante per area, ma un aumento sostanziale delle esotiche, con quasi 2 per area.

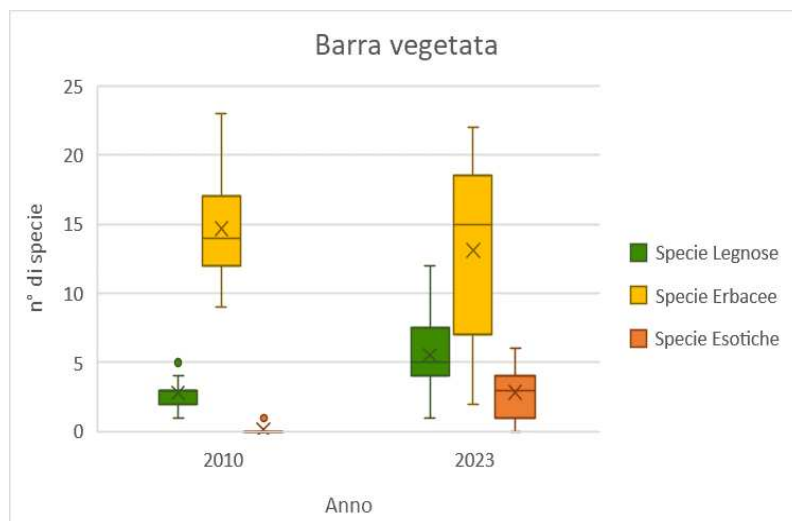


Figura 4.3.5: grafico nel quale viene mostrata la distribuzione del numero di specie per le tre categorie per l'anno 2010 e 2023 per l'unità morfologica della barra vegetata

Nelle aree di saggio riconosciute come barra vegetata, la quantità di specie legnose ed erbacee nei due anni, avendo un P-value minore di 0,05 (come si può osservare nella Tabella 4.3.2), risulta essere statisticamente diversa. Inoltre, anche in questa unità morfologica, come nella precedente, il numero di specie erbacea è rimasto il più simile negli anni.

Tabella 4.3.2: risultato del test t-student per le aree di saggio con barra vegetata come unità morfologica.

Barra vegetata		Test t: due campioni assumendo varianze diverse						
Specie Legnose			Specie Erbacee			Specie Esotiche		
	2010	2023		2010	2023		2010	2023
Media	2,80	5,53	Media	14,67	13,12	Media	0,13	2,82
Varianza	1,31	6,76	Varianza	14,81	41,61	Varianza	0,12	3,40
P(T<=t) una coda	0,000289		P(T<=t) una coda	0,212847		P(T<=t) una coda	7,16E-06	

Dalla Tabella 4.3.2 è possibile stabilire con precisione la media di specie legnose, erbacee ed esotiche per ogni area di saggio riconosciuta come barra vegetata nei due anni in esame. Infatti, nel 2010 si hanno in media quasi 3 piante legnose, oltre 14 piante erbacee e sostanzialmente nessuna esotica per barra, mentre nel 2023 si nota un quasi raddoppio delle legnose ed una leggera diminuzione delle erbacee, con rispettivamente oltre 5 e 13 piante per barra, ma soprattutto un aumento sostanziale delle esotiche, con quasi 3 per barra.

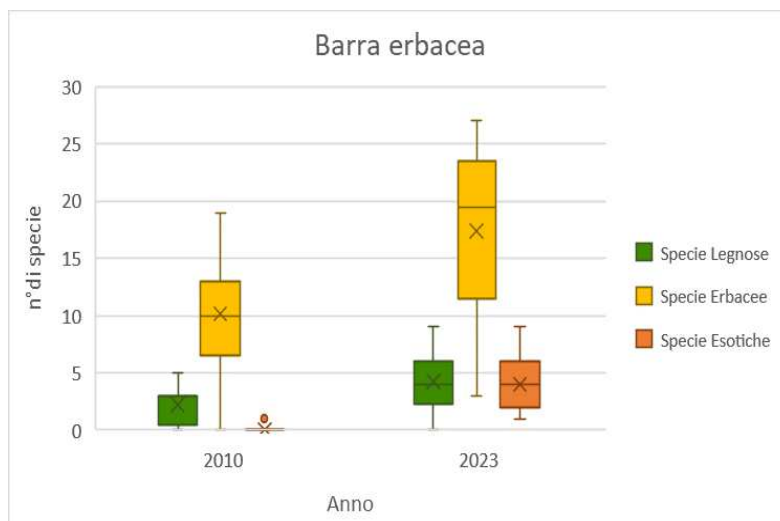


Figura 4.3.6: grafico nel quale viene mostrata la distribuzione del numero di specie per le tre categorie per l'anno 2010 e 2023 per l'unità morfologica della barra erbacea

Nelle aree di saggio individuate come barra erbacea, la quantità di specie legnose ed erbacee nei due anni risulta essere statisticamente diversa. Infatti, il P-value si trova essere minore di 0,05 (come si può notare nella Tabella 4.3.3).

Le specie esotiche, invece, non sono state rilevate nel 2010 ma ne sono state rilevate molte nel 2023.

Tabella 4.3.3: risultato del test t-student per le aree di saggio con barra erbacea come unità morfologica.

Barra erbacea		Test t: due campioni assumendo varianze diverse						
Specie Legnose			Specie Erbacee			Specie Esotiche		
	2010	2023		2010	2023		2010	2023
Media	2,24	4,25	Media	10,15	17,40	Media	0,06	4,00
Varianza	2,69	5,88	Varianza	23,70	57,52	Varianza	0,06	5,89
P(T<=t) una coda	0,001076		P(T<=t) una coda	0,0003		P(T<=t) una coda	3,02E-07	

Dalla Tabella 4.3.3 è possibile stabilire con precisione la media di specie legnose, erbacee ed esotiche per ogni area di saggio individuata come barra erbacea nei due anni in esame. Infatti, nel 2010 si hanno in media oltre 2 piante legnose, circa 10 piante erbacee e sostanzialmente nessuna esotica per barra, mentre nel 2023 si nota un raddoppio delle legnose ed un aumento marcato delle erbacee, con rispettivamente oltre 4 e 17 piante per barra, ma soprattutto un aumento più che sostanziale delle esotiche, con 4 piante per barra.

Le barre nude, per definizione, non contengono vegetazione però nel 2023 sono state trovate alcune specie erbacee e specie legnose pure, tra cui molte piante esotiche. Il canale attivo normalmente non ha vegetazione al suo interno.

Per quanto riguarda le isole non è stato possibile fare un confronto perché, come visibile nella Tabella 4.1.1 e nella Figura 4.1.4, nel 2023 non sono presenti isole nelle sezioni. È comunque importante riportare che sono presenti alcune isole a Nord della sezione BL1 e a Sud della sezione BL3; quindi, esse non sono scomparse dal tracciato ma solo dalle nostre aree di saggio.

Alla luce dei risultati ottenuti in questo sotto capitolo riguardante la vegetazione, si può affermare che il numero di specie erbacee è il valore che rimane maggiore e più costante negli anni mentre il numero di specie legnose per l'unità morfologica della piana alluvionale, della barra erbacea e della barra vegetata è statisticamente diverso. Nelle due barre, dal 2010 al 2023 il numero di specie è aumentato, nella piana alluvionale, invece, il numero medio di specie legnose per area di saggio è diminuito. In tutte e tre le morfologie le specie aliene sono aumentate significativamente nell'anno 2023, passando dall'essere il 3% del numero di specie totali dell'anno a diventare il 17% (come raffigurato in Figura 4.3.3). Per le altre unità morfologiche si è costretti, invece, a fare commenti più generali per mancanza di dati.

5. Conclusioni

I risultati di questo studio sul fiume Piave hanno evidenziato importanti cambiamenti morfologici nel corso degli anni. Durante il periodo preso in esame, dal 2010 al 2023, si è osservata una varietà di comportamenti diversi tra le diverse unità morfologiche. La piana alluvionale è risultata la zona più stabile, mentre le isole hanno dimostrato una notevole variabilità, con fluttuazioni significative nel numero di aree di saggio fino ad arrivare alla loro scomparsa nel 2022 e 2023. Le barre nude hanno mostrato una riduzione graduale delle aree di saggio dal 2015 e negli stessi anni si è osservato un aumento delle barre erbacee e vegetate, probabilmente a causa della diminuzione degli eventi di disturbo che ha favorito la crescita della vegetazione. Le variazioni osservate della persistenza delle unità morfologiche potrebbero essere dovute da eventi di piena e da variazioni nel flusso solido-liquido del fiume.

La granulometria dei sedimenti è eterogenea in tutte e tre le sezioni e in generale il D50 corrisponde, nella Classificazione di Wentworth, a ghiaia grossolana. La granulometria è rimasta sostanzialmente costante nel periodo 2010-2023, suggerendo una relativa stabilità nella dinamica sedimentaria. Tuttavia, è emersa una variazione significativa dal 2010 al 2023 nel diametro dei sedimenti nella sezione BL1, indicando una mutazione nell'ambiente sedimentario di quella zona.

L'analisi della vegetazione d'alveo e riparia ha mostrato un aumento delle specie erbacee a leggero discapito delle specie legnose dal 2010 al 2023, con un significativo incremento delle specie esotiche invasive passando dal 3% al 17% delle specie totali. Questo 17% è composto al 71% da specie erbacee e al 29% da specie legnose. Sono state ottenute differenze statisticamente significative nel numero di specie legnose tra il 2010 e il 2023 nelle unità morfologiche della piana alluvionale e delle barre vegetate ed erbacee, mentre il numero di specie erbacee è rimasto più costante nel corso degli anni. I risultati ottenuti, in particolare quelli legati alle specie alloctone, sottolineano la necessità di continuare a monitorare l'evoluzione del fiume Piave nei prossimi anni al fine di individuare linee guida per la gestione della vegetazione riparia.

6. Bibliografia

- Allen, J. R. L., 1965, *A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments*. Sedimentology
- Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2010, *Bacino del Fiume Piave: Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso*, Gazzetta Ufficiale.
- Billi P., 1994, *Morfologia dei corsi d'acqua*, Verde Ambiente volume 5, pagine 61-70
<https://hdl.handle.net/11392/460163>
- Bottazzo F., 2013, *Dinamica delle isole fluviali del Fiume Brenta tra Nove e Fontaniva*, Corso di Laurea in Riassetto del Territorio e Tutela del Passeggio, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea Triennale
- Bunte K., Abt S. R., 2001. *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distribution in Wadable Gravel and Cobble-Bed Streams for Analysis 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.
- Carli M., 2013, *Sulla mitigazione della pericolosità idraulica sul basso corso del fiume Piave: analisi degli effetti delle casse di laminazione alle grave di Papadopoli*, Corso di Laurea in Geologia e Geologia Tecnica, Università degli Studi di Padova, Tesi di Laurea Magistrale.
- Cencetti C, Fredduzzi A, 2007, *Gis e cartografia storica nell'analisi della dinamica fluviale del f. Sinni (Basilicata)*, Atti 11° Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto, Torino.
- Dal Cin R., 1967, *Le ghiaie del Piave. Morfometria, granulometria, disposizione e natura dei ciottoli*. Mem. Museo Trid. Sc. Nat., XVI, III, 121-293.
- Damiani G, 2021, *Le piante delle sponde: la vegetazione ripariale*, Simbiosi Magazine 2, www.gufitalia.it
- Lenzi M.A., D'Agostino V., Sonda D., 2000, *Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti*. Editoriale Bios, Cosenza.
- Lenzi M.A., 2022-2023, *Channel morphology, large wood and sediment fluxes in mountain rivers. Appunti di lezione*, Corso di Laurea Triennale in Tecnologie Forestali ed Ambientali, Università degli Studi di Padova.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P., 1964, *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco, 522 p.
- Montgomery D.R., Buffington J.M., 1997, *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*, Geological Society of America Bulletin 5, 596-611.
- Nicola Surian, Massimo Rinaldi, Luisa Pellegrini, 2009, *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*, Cleup.
- Nanson G.C., Croke J.C., 1992, *A genetic classification of floodplains*. Geomorphology, 4 (6), 459-486.
- Picco L., Mao L., Rigon E., Moretto J., Ravazzolo D., Delai F. and M. A. Lenzi, 2012. *Riparian forest structure, vegetation cover and floods events in the Piave River (Northeast of Italy)*. This volume, pp.11.

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)*, *Echohydrology* 9, 101-112.

Piovan S., 2008, *Evoluzione paleoidrografica della pianura veneta meridionale e rapporto Uomo-Ambiente nell'Olocene*, Quaderni del dottorato 2, Università degli Studi di Padova-Dipartimento di Geografia, pp.41-62

Pysek P., Müllerová J. & Jarosík V., 2007, *Historical dynamics of *Heracleum mantegazzianum* invasion at a regional and local scales*. Ecology and management of giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*) (ed. by P. Pysek, M.J.W. Cock, W. Nentwig and H.P. Ravn), pp. 42–54. CAB International, Wallingford, UK.

Planty-Tabacchi A.M., Tabacchi E., Naiman R.J., Deferrari C. & Décamps H., 1996, *Invasibility of species rich communities in riparian zones*. *Conservation Biology*, 10, 598–607

Richardson D.M., Holmes P.M., Esler K.J., Galatowitsch S.M., Stromberg J.C., Kirkman S.P., Pyšek P. and Hobbs R.J., 2007, *Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects*. *Diversity and Distributions*, 13: 128-132.

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M., 2010, *Sistema di Valutazione Morfologica dei corsi d'acqua Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua*, versione 0, ISPRA.

Rosgen D.L., 1994, *A classification of natural rivers*, Elsevier 22, 169-199.

Sitzia T., Picco L., Ravazzolo D., Comiti F., Mao L., Lenzi M.A., 2016, *Relationships between woody vegetation and geomorphological patterns in three gravel-bed rivers with different intensities of anthropogenic disturbance*, *Advances in water resources* 93, 193-204.

Yuzyk, T.R., 1986. *Bed material sampling in gravel-bed streams*. Sediment Survey Section, Water Survey of Canada, Water Resources Branch, Inland Waters Directorate, Conservation and Protection, Environment Canada, Report IWD-HQ- WRB-SS-86-8, 62 pp.

Yuzyk, T.R. and T. Winkler, 1991. *Procedures for bed-material sampling*. Lesson Package No. 28. Environment Canada, Water Resources Branch, Sediment Survey Section, Ottawa, Canada, 100 pp.