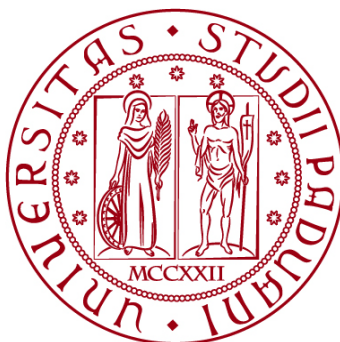


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea magistrale in Environmental Sustainability and Education



TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE DELL'IMPATTO
DELL'IMMISSIONE DI TROTE FARIO SU
MACROINVERTEBRATI BENTONICI E PESCI DI
PICCOLA TAGLIA NELLE ROGGE USELINO E
CUMANA**

Relatore: Prof. Alberto Barausse
Dipartimento di Biologia

Correlatrice: Dott.ssa Aurora Voltolina
Dipartimento di Biologia

Laureando: Enrico Comel

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

1. ABSTRACT	1
2. INTRODUZIONE	4
2.1 La Trota Fario	4
2.2 I macroinvertebrati	6
2.3 Effetti del controllo Top-Down delle trote	7
2.4 L'indice STAR_ICMi	8
2.5 Scopo della tesi	9
3. MATERIALI E METODI	10
3.1 Le rogge Uselino e Cumana	10
3.2 Siti di campionamento	11
3.2.1 Sito US	12
3.2.2 Sito CU	13
3.3 Campionamenti	16
3.3.1 Pesci di piccola taglia	17
3.3.2 Elettropesca	17
3.3.3 Campionamento di Macroinvertebrati	19
3.3.4 Tipizzazione dei corsi d'acqua di interesse	20
3.3.5 Rete Surber	20
3.3.6 Valutazioni preliminari sul sito di campionamento	21
3.3.7 Procedimento	22
3.4 Caratterizzazione dei siti	25
3.5 Analisi dei campioni e calcolo dell'indice STAR_ICMi	25
3.6 Parametri ambientali analizzati	27
3.7 L'Indice di diversità di Shannon	27
3.8 Analisi della comunità ittica	28
3.9 Analisi statistiche	28
3.9.1 nMDS	30
3.9.2 Clusterizzazione	31
3.9.3 PERMANOVA	31
3.9.4 PERMDISP	32
3.9.5 SIMPER	33
4. RISULTATI	34
4.1 Caratterizzazione dei siti	34
4.1.1 Sito US	34
4.1.2 Sito CU	35
4.2 Confronto tra siti	37
4.2.1 Parametri ambientali	38
4.2.2 Specie ittiche	38
4.2.3 Indice STAR_ICMi	42
4.2.4 Indice di Shannon	42
4.3 Analisi statistiche del confronto (macroinvertebrati bentonici)	43
4.3.1 nMDS	43
4.3.2 Clusterizzazione	44
4.3.3 PERMANOVA	45

4.3.4	PERMDISP	46
4.3.5	SIMPER	46
4.4	Analisi statistiche del confronto (pesci di piccola taglia)	50
4.4.1	nMDS	51
4.4.2	Clusterizzazione	52
4.5	Confronto con e tra Carte Ittiche	52
4.5.1	Sito US	53
4.5.2	Sito CU	54
5	DISCUSSIONE	55
6	CONCLUSIONE	59
7	APPENDICE	61
8	BIBLIOGRAFIA	89
9	SITOGRAFIA	92
10	RINGRAZIAMENTI	93

1. ABSTRACT

Le interazioni preda-predatore rappresentano processi che possono fortemente influenzare la biodiversità e il funzionamento degli ecosistemi terrestri e acquatici. Lo studio ha analizzato l'impatto ecologico dell'immissione di trote fario (*Salmo trutta*) sulle comunità di macroinvertebrati bentonici e pesci di piccola taglia in due rogge del Veneto gestite dalla società "La Sorgente s.m.p.s.": la roggia Uselino, soggetta a immissioni continue di trote da oltre 50 anni, e la roggia Cumana, priva di tali interventi. I campionamenti sono stati condotti seguendo le direttive ISPRA per la raccolta di macroinvertebrati e utilizzando la tecnica dell'elettropesca per la fauna ittica, sia in fase pre- che post-immissione. I dati raccolti sono stati analizzati tramite indici ecologici come STAR_ICMi e l'indice di diversità di Shannon, e attraverso test statistici per valutare differenze spaziali e temporali.

I risultati hanno mostrato che la roggia Uselino presenta una qualità ecologica inferiore, caratterizzata da una comunità di macroinvertebrati con specie più tolleranti agli stress ambientali. Nonostante un aumento numerico della diversità post-immissione, l'indice STAR_ICMi ha indicato un peggioramento della qualità ecologica, suggerendo che la predazione delle trote favorisca specie meno sensibili e alteri la struttura della comunità. Invece, la roggia Cumana ha mantenuto una maggiore biodiversità e qualità ecologica, evidenziando per contrasto l'influenza negativa delle immissioni di trote sulla diversità funzionale delle comunità ittiche della roggia Uselino.

Le analisi sulla fauna ittica hanno confermato che la presenza continua di trote fario ha ridotto la biodiversità e la presenza di pesci di piccola taglia nella roggia Uselino. La popolazione di *Squalius cephalus* (cavedano) nella Uselino era dominata da individui adulti, suggerendo una forte pressione predatoria, mentre nella roggia Cumana si osservava una maggiore varietà di specie e abbondanza di piccoli pesci. Ulteriori preoccupazioni ecologiche sono emerse dalla presenza di specie aliene nella roggia Cumana, tra cui *Procambarus clarkii* (gambero rosso della Louisiana) e *Rhodeus amarus* (rodeo amaro), che potrebbero minacciare la biodiversità locale.

Lo studio ha evidenziato che le immissioni di trote fario nella roggia Uselino potrebbero aver innescato un effetto di controllo top-down, modificando le dinamiche trofiche e portando a una riduzione della diversità funzionale delle comunità ittiche e a cambiamenti nella composizione della comunità di macroinvertebrati bentonici. L'impatto non è emerso immediatamente dal confronto tra i campionamenti pre- e post-immissione, ma è stato chiaro analizzando le differenze ecologiche tra le due rogge e la storia delle immissioni nella Uselino. Ulteriori studi con un campione più numeroso, specialmente in termini di rogge, potrebbero aiutare a confermare tale risultato e la sua generalità.

Dal punto di vista della gestione ambientale, i risultati sottolineano l'importanza di monitorare le pratiche di immissione delle trote fario, dato il loro impatto sulla biodiversità e la qualità ecologica degli habitat. La lunga storia di immissioni nella roggia Uselino sembra poter aver modificato le dinamiche ecologiche locali, riducendo la biodiversità dei pesci di piccola taglia e alterando la struttura delle comunità di macroinvertebrati. Tuttavia, come detto, lo studio ha incontrato limitazioni legate al numero ristretto di siti e alla variabilità delle condizioni

naturali, suggerendo la necessità di ulteriori ricerche su una scala spaziale e temporale più ampia per confermare i risultati e definire pratiche di gestione più sostenibili.

This study analyzed the ecological impact of introducing brown trout (*Salmo trutta*) on the communities of benthic macroinvertebrates and small fish in two canals in the Veneto region, managed by the “La Sorgente s.m.p.s.” organization: the Uselino canal, which has been subject to continuous trout releases for over 50 years, and the Cumana canal, which has not experienced such interventions. Sampling was conducted following ISPRA guidelines for macroinvertebrate collection and using electrofishing techniques for fish, both before and after the trout releases. The collected data were analyzed using ecological indices such as STAR_ICMi and the Shannon diversity index, along with statistical tests to assess spatial and temporal differences.

The results showed that the Uselino canal has lower ecological quality, characterized by a macroinvertebrate community consisting of more tolerant species to environmental stress. Despite an increase in numerical diversity post-release, the STAR_ICMi index indicated a decline in ecological quality, suggesting that trout predation favors less sensitive species and alters community structure. In contrast, the Cumana canal maintained greater biodiversity and ecological quality, highlighting the negative influence of trout releases on the functional diversity of fish communities in the Uselino canal.

Analysis of fish fauna confirmed that the continuous presence of brown trout reduced biodiversity and the presence of small fish in the Uselino canal. The population of *Squalius cephalus* (chub) in the Uselino was dominated by adult individuals, suggesting strong predatory pressure, while the Cumana canal exhibited a greater variety of species and abundance of small fish. Additional ecological concerns arose from the presence of alien species in the Cumana canal, including *Procambarus clarkii* (red swamp crayfish) and *Rhodeus amarus* (bitterling), which could threaten local biodiversity.

The study highlighted that the introduction of brown trout in the Uselino canal triggered a top-down control effect, altering trophic dynamics and leading to a reduction in functional diversity of fish communities and changes in the composition of benthic macroinvertebrate communities. The impact did not immediately emerge from comparisons between pre- and post-release samples but became clear when analyzing the ecological differences between the two canals and the history of releases in the Uselino.

From an environmental management perspective, the results emphasize the importance of monitoring brown trout release practices, given their impact on biodiversity and ecological quality of habitats. The long history of releases in the Uselino canal has altered local ecological dynamics, reducing the biodiversity of small fish and changing the structure of macroinvertebrate communities. However, the study faced limitations related to the small number of sites and variability in

natural conditions, suggesting a need for further research on a broader spatial and temporal scale to confirm the findings and establish more sustainable management practices.

2. INTRODUZIONE

2.1 La Trota Fario

La trota fario (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) è un pesce di grande interesse alieutico presente in svariati fiumi e laghi della nostra penisola e non solo. Infatti si tratta di una specie indigena in Europa, Nord Africa e Asia occidentale (MacCrimmon et al., 1970). In Europa, i suoi limiti settentrionali sono rappresentati dall'Islanda, la Scandinavia settentrionale e la Russia (Elliott, 1994). I limiti occidentali sono definiti dalla costa europea e quelli meridionali dalla costa settentrionale del Mar Mediterraneo presso le isole di Corsica, Sardegna e Sicilia, e dalle montagne dell'Atlante del Nord Africa. I limiti orientali probabilmente sono le montagne degli Urali a nord e il bacino del fiume Amu Dar'ya del Mar d'Aral a sud (Williams & Aladin, 1991). Negli ultimi secoli la trota fario è stata introdotta in almeno 24 paesi al di fuori dell'Europa e presenta ormai una distribuzione a livello globale (Elliott, 1994). In presenza di substrato di deposizione adatto, condizioni di temperatura adeguate e qualità dell'acqua sufficientemente buona, questa specie può occupare habitat da piccoli ruscelli ai più grandi fiumi, da piccoli laghi di montagna ai fiordi e alle acque costiere nel suo raggio d'azione (Behnke, 1986). La vasta distribuzione geografica di questa specie è legata alle sue caratteristiche, ovvero: la sua plasticità ecologica, l'eccellente capacità di diffondersi e colonizzare nuovi corsi d'acqua, la sua reputazione come ottimo alimento e specie di interesse per la pesca sportiva (Klemetsen et al., 2003).

La forma anadroma di *S. trutta* può essere considerata la progenitrice di varie altre forme, specie e sottospecie di trote viventi in gran parte d'Europa. Per la loro filogenesi sembra siano stati determinanti gli aspetti morfologici dei bacini idrografici, in relazione alle vicende climatiche e geografiche svoltesi durante le glaciazioni (Gibertoni et al., 1998). Infatti la specie sembra essersi evoluta attraverso cinque differenti linee evolutive in isolamento geografico durante il Pleistocene (Klemetsen et al., 2003).

È importante considerare però che gli studi sulla sistematica e la zoogeografia dei pesci del genere *Salmo* sono spesso complessi, soprattutto a causa dell'interferenza umana. Negli ultimi decenni, l'uomo ha effettuato significativi ripopolamenti con esemplari selezionati e allevati in piscicoltura, motivato da interessi commerciali e alieutici. Questa pratica, tuttavia, ha comportato l'introduzione di nuovi individui in acque già abitate da specie autoctone, alterando così il patrimonio genetico originale e causando fenomeni di "inquinamento genetico". Inoltre, la facilità con cui le diverse forme di *Salmo* possono ibridarsi tra loro ha contribuito a rendere sempre più difficile l'identificazione di popolazioni autoctone pure, ossia quelle che non hanno subito mescolanze genetiche con il materiale introdotto (Gibertoni et al., 1998). Questa purtroppo è la situazione in cui ci si trova anche in questo studio, in cui non è fattibile identificare il ceppo genetico degli esemplari introdotti nella Roggia¹ Uselino, poiché provengono da diverse fonti di allevamento, ciascuna con

¹ Una roggia è un corso d'acqua naturale o artificiale che può essere di origine risorgiva o dalla derivazione di un fiume o torrente per scopi specifici come l'irrigazione, il drenaggio o l'approvvigionamento idrico di mulini e altre attività economiche. Generalmente caratterizzata da un flusso lento e controllato, la roggia si inserisce in un sistema complesso di gestione idrica, tipico delle aree di pianura. Questi corsi d'acqua rivestono anche un ruolo ecologico significativo, fungendo da habitat per molte specie acquatiche. La loro gestione prevede spesso interventi per

una provenienza statale distinta. Questa circostanza impedisce anche ai fornitori di avere conoscenza del ceppo genetico delle trote.

In generale il fenotipo della trota fario è caratterizzato da un corpo slanciato e snello, con una testa relativamente grande e pinna caudale troncata², macchie verdastro-azzurre lungo i fianchi, macchiettatura fine diffusa sui fianchi e sulle pinne dorsali e adiposa. La colorazione della macchiettatura, che può essere rada o fitta, è generalmente diversa da soggetto a soggetto. Possiamo riscontrare soggetti con macchiettatura solo rossa, solo nerastra o bruna o ancora mista, e oltre a tale aspetto si riscontra che popolazioni appartenenti a corsi d'acqua e habitat differenti presentano differenze nel loro aspetto fenotipico, come il numero e la disposizione delle macchie, la colorazione del ventre, ecc., pur mantenendo in comune le altre caratteristiche (Pakkasmaa & Piironen, 2001; Gibertoni et al., 1998).

Questa specie può raggiungere la maturità sessuale in un range di età relativamente ampio: tra 1 e 10 anni, in cui i pesci tendono a maturare ad età più avanzate in località caratterizzate da basse temperature. Il periodo di riproduzione avviene in autunno o in inverno in base alla latitudine e all'altitudine in cui avviene la deposizione delle uova. In particolare si è osservato che la riproduzione avviene prima ad elevate latitudini e/o altitudini a causa delle più basse temperature dell'acqua che comportano il prolungamento del periodo di incubazione delle uova, le quali rimangono sepolte nella ghiaia per uno o più mesi, per poi schiudersi nella primavera seguente (Klemetsen et al., 2003).

Dal punto di vista comportamentale, la trota fario risulta essere piuttosto "sedentaria", ovvero tende ad occupare la medesima porzione del corso d'acqua, risultando anche territoriale e ostile nei confronti di suoi simili o di altre specie di pesci nei fiumi di grandi dimensioni, col fine di mantenere e difendere la propria posizione privilegiata dove ottiene sufficiente apporto di cibo e nascondigli da possibili predatori. La situazione invece risulta essere differente in corsi d'acqua di più piccole dimensioni, come le rogge oggetto di studio, dove questo pesce tende a muoversi maggiormente, a causa di cambiamenti legati alla disponibilità di cibo, velocità della corrente, e densità di pesci competitori³ (Rodriguez 2002; Gowan et al., 1994; Nordwall et al., 2001).

Durante il periodo estivo, l'alimentazione è il comportamento dominante, con il picco di attività massima durante il crepuscolo e la notte. Durante l'inverno invece, quando la temperatura dell'acqua è più bassa, l'attività diminuisce e la specie durante il giorno cerca riparo negli spazi offerti dalle macrofite acquatiche e dal substrato, mentre durante la notte può mantenere la posizione sul fondo o vicino ad esso in acque a corrente lenta, alimentandosi fino a temperature di 0-8°C (Klemetsen et al., 2003).

Il tasso di crescita e le dimensioni dei diversi esemplari di trota fario sono strettamente legati al tipo di corso d'acqua, infatti è possibile osservare esemplari di 4 anni di età con un peso di appena 20 g in piccoli ruscelli ed esemplari di 1 kg,

garantire il deflusso minimo vitale e la connessione con i corsi d'acqua naturali, contribuendo così al mantenimento della biodiversità fluviale (Datei & Salandin, 2004).

² Tipica di pesci a nuoto lento ma capaci di brevi scatti veloci.

³ Una specie di pesce competitorice è una specie che compete con un'altra per le stesse risorse limitate, come cibo, spazio o habitat riproduttivo, all'interno di un ecosistema acquatico. La competizione può influenzare la distribuzione, l'abbondanza e la dinamica delle popolazioni delle specie coinvolte, spesso portando a un equilibrio o a un cambiamento nella composizione della comunità ittica (Begon et al., 2006).

nel caso di ampi fiumi. I fattori abiotici temperatura e apporto di nutrienti risultano essere le principali cause di questa ampia variabilità, assieme alla densità di popolazione, il cui aumento comporta la diminuzione del tasso di crescita (Klemetsen et al., 2003). La temperatura critica inferiore per la crescita è compresa tra 3 e 6 °C, quella critica superiore è tra 25 e 26 °C, mentre la temperatura ottimale per la crescita è compresa tra 13 e 18 °C, e aumenta con l'aumento del consumo di cibo (Elliott & Hurley, 2000; Gibertoni et al., 1998; Klemetsen et al., 2003).

2.2 I macroinvertebrati

I macroinvertebrati bentonici sono organismi di fondamentale importanza per il biomonitoraggio e la valutazione della qualità ecologica dei fiumi. La loro limitata mobilità, la presenza di gruppi con differente sensibilità alle cause di alterazione, la relativa facilità di campionamento e identificazione, i molteplici ruoli nella rete trofica e l'ampia diffusione nei corsi d'acqua li rendono particolarmente adatti per queste analisi. La composizione e l'abbondanza dei macroinvertebrati bentonici sono infatti elementi biologici chiave previsti dalla Direttiva Quadro sulle Acque dell'Unione Europea (Water Framework Directive, o WFD) per la classificazione dello stato ecologico dei fiumi (WFD, 2000/60/EC) e cioè per valutare lo stato di qualità dell'ecosistema fluviale (ISPRA, 2014).

L'utilizzo delle comunità biologiche come bioindicatrici fornisce dati differenti e complementari rispetto a quelli derivati dai parametri chimico-fisici. Una comunità biologica, composta dalle diverse popolazioni che vivono e interagiscono in un dato habitat, è fortemente influenzata non solo dalle condizioni ambientali al momento del rilevamento ma anche dalle condizioni pregresse. Per questo motivo il monitoraggio degli elementi biologici può essere impiegato per fornire informazioni di lungo periodo sul sistema, rappresentando una sorta di "memoria biologica" delle condizioni ambientali. Questo approccio permette di avere una visione complessiva della qualità ecologica dell'ambiente fluviale (Fenoglio et al., 2019).

I macroinvertebrati rappresentano un insieme eterogeneo di taxa, visibili ad occhio nudo e con dimensioni superiori a 0,5 mm, che possono essere raccolti utilizzando un retino con una densità della rete di 21 maglie per cm (ISPRA, 2014). Tra questi organismi si trovano Artropodi (principalmente Insetti e Crostacei), Gasteropodi, Anellidi e altri. Essi possono essere classificati in base alla loro posizione nella colonna d'acqua: bentonici se vivono sul substrato, neustonici se abitano la superficie dell'acqua e nectonici se hanno uno stile di vita libero nell'acqua (ISPRA, 2014).

I macroinvertebrati rivestono un ruolo cruciale nella rete trofica degli ecosistemi fluviali. Essi costituiscono una importante fonte di cibo per le trote fario (Biggs et al., 2000; Meissner et al., 2006; Nyström et al., 2003) e sono prede essenziali non solo per la maggior parte dei pesci presenti nel fiume ma anche per altri organismi acquatici e alcuni uccelli. Perciò la loro presenza e abbondanza sono fondamentali per il mantenimento dell'equilibrio ecologico. Questa posizione strategica nella catena alimentare li rende indicatori chiave dello stato di salute dell'ecosistema. Studiando le comunità di macroinvertebrati si può ottenere una visione dettagliata delle interazioni trofiche e della struttura dell'ecosistema, permettendo di valutare la qualità complessiva dell'ambiente fluviale (Covich et al., 1999).

2.3 Effetti del controllo Top-Down delle trote

Le interazioni di controllo Top-Down rivestono un ruolo fondamentale in ecologia poiché regolano le dinamiche delle comunità attraverso l'azione dei predatori sui livelli trofici inferiori. Questo tipo di interazione è particolarmente rilevante nel contesto delle immissioni di trote fario (*Salmo trutta*), che comportano l'introduzione improvvisa e massiccia di un predatore alloctono nei sistemi fluviali. L'introduzione di tali predatori può alterare significativamente le dinamiche trofiche e la struttura degli ecosistemi acquatici, con potenziali effetti a cascata su tutta la rete ecologica. Capire questi meccanismi è essenziale per valutare l'impatto ecologico di interventi antropogenici, come le immissioni di specie, e rappresenta una delle motivazioni principali alla base di questo studio.

L'attività predatoria delle trote fario può infatti portare a cambiamenti profondi nelle comunità ittiche e di macroinvertebrati, influenzando la biodiversità e la qualità ecologica dei corsi d'acqua. Tra gli effetti principali si riscontrano:

- Riduzione delle popolazioni di pesci di piccola taglia e macroinvertebrati: le trote possono consumare grandi quantità di questi organismi, causando una diminuzione delle loro popolazioni e in generale dell'abbondanza di certe specie predate (Rosenfeld et al., 2000; Meissner et al., 2006);
- Cambiamenti nella struttura della comunità: con la diminuzione delle popolazioni di pesci di piccola taglia e macroinvertebrati, la struttura della comunità acquatica può cambiare. Alcune specie potrebbero essere eliminate o ridotte drasticamente, mentre altre potrebbero prosperare in assenza di potenziali competitori o di predatori naturali (Rosenfeld et al., 2000; Meissner et al., 2006);
- Effetto a cascata sulla vegetazione acquatica e sui produttori primari: la diminuzione dei consumatori primari come i macroinvertebrati potrebbe portare a un aumento delle alghe e delle piante acquatiche, poiché ci sarebbe meno pressione di consumo su di esse. Tale effetto può manifestarsi in diversi modi, come: problemi di ipossia legati all'aumento esponenziale della biomassa algale a cui può seguire la riduzione della trasparenza dell'acqua e quindi una minore disponibilità di luce per le piante acquatiche (minor qualità dell'acqua). In secondo luogo, l'eccesso di alghe può alterare il ciclo dei nutrienti. Con la riduzione della pressione di erbivoria, i nutrienti come fosforo e azoto vengono utilizzati rapidamente dalla biomassa algale, accumulandosi in forme meno accessibili per altre piante. Durante la decomposizione, grandi quantità di nutrienti vengono rilasciate, causando cambiamenti nella loro distribuzione e disponibilità. Questo influenza la composizione delle comunità vegetali, con effetti sulla struttura dell'habitat e sulle nicchie ecologiche disponibili (Biggs et al., 2000);
- Alterazione dell'habitat: la predazione da parte delle trote sui piccoli organismi, come macroinvertebrati e pesci di piccola taglia, può influenzare significativamente la struttura delle comunità biologiche in un ecosistema fluviale. La diminuzione o la scomparsa di queste specie preda può portare a effetti a cascata, alterando la distribuzione e l'abbondanza di altre specie

che dipendono da loro, direttamente o indirettamente, per alimentazione o protezione. Questi cambiamenti possono, a loro volta, modificare la struttura dell'habitat. Ad esempio, la riduzione dei macroinvertebrati, che spesso rimuovono alghe e detriti organici, può portare a un accumulo di biomassa vegetale, alterando la disponibilità di spazi adatti alla deposizione delle uova o alla protezione dai predatori. Inoltre, la riduzione delle specie preda può modificare le dinamiche competitive tra specie di pesci o altri organismi, influenzando le nicchie ecologiche e riducendo la diversità degli habitat specifici necessari per attività vitali come la riproduzione o il foraggiamento (Nyström et al., 2003; Rosenfeld et al., 2000). Questi processi dimostrano come la scomparsa di alcune specie possa innescare una serie di cambiamenti che non solo influenzano le interazioni biologiche ma alterano anche la struttura fisica dell'habitat, con conseguenze sull'intero ecosistema.

2.4 L'indice STAR_ICMi

L'indice STAR_ICMi (Standardisation of River Classifications - Intercalibration Common Metric Index) è uno strumento utilizzato per la valutazione della qualità ecologica dei corpi idrici fluviali. Questo indice è stato sviluppato nell'ambito del progetto europeo STAR (Standardisation of River Classifications) con l'obiettivo di standardizzare i metodi di classificazione ecologica dei fiumi all'interno dell'Unione Europea (UE). Questo infatti è uno degli strumenti indicati per soddisfare i requisiti della Direttiva Quadro sulle Acque (Water Framework Directive, WFD, 2000/60/EC), che richiede agli Stati membri di classificare lo stato ecologico delle acque superficiali in modo uniforme e comparabile (Buffagni & Erba, 2007; ArpaV & Regione Veneto, 2015).

In particolare si tratta di un indice quantitativo multimetrico che combina diversi indicatori biologici, prevalentemente basati sulle comunità di macroinvertebrati bentonici, per fornire una valutazione complessiva della qualità ecologica di un corso d'acqua. Tale indice è composto da diverse metriche che misurano vari aspetti della comunità di macroinvertebrati, come la diversità, la sensibilità a inquinanti specifici, la composizione tassonomica e la struttura funzionale. L'integrazione di queste metriche permette di ottenere un quadro dettagliato e preciso dello stato di salute dell'ecosistema fluviale (Buffagni & Erba, 2007; ArpaV & Regione Veneto, 2015).

Le metriche utilizzate sono sei:

- 1) Indice di diversità di Shannon-Wiener: misura la diversità delle specie all'interno della comunità. Una maggiore diversità è generalmente indicativa di un ecosistema più sano;
- 2) Ricchezza tassonomica: numero totale di famiglie presenti. Un alto numero di famiglie indica un ambiente ecologicamente ricco;
- 3) Indice biotico ASPT (Average Score Per Taxon): calcola il valore medio di tolleranza all'inquinamento per i taxa presenti. Valori alti indicano una comunità composta da specie sensibili all'inquinamento riflettendo quindi un ambiente meno inquinato;

- 4) Numero di Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (Famiglie EPT): questi ordini di insetti sono particolarmente sensibili alla qualità dell'acqua. Un'elevata presenza di EPT è segno di buona qualità ecologica;
- 5) $\text{Log}_{10}(\text{sel_EPTD}+1)$: dove EPTD rappresenta l'abbondanza di Heptageniidae, Ephemeridae, Leptophlebiidae, Brachycentridae, Goeridae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Odontoceridae, Dolichopodidae, Stratyomidae, Dixidae, Empididae, Athericidae e Neumoridae;
- 6) 1 - GOLD: viene sottratta ad 1 l'abbondanza relativa di Gasteropoda, Oligochaeta e Diptera, denominata "GOLD" (Fenoglio et al., 2019).

Per calcolare l'indice, si raccolgono dati sulle sei metriche sopra descritte attraverso campionamenti di macroinvertebrati bentonici. Ogni metrica viene standardizzata e pesata per contribuire al punteggio complessivo dell'indice. Il risultato finale è un valore compreso tra 0 e 1, dove: 0 indica uno stato ecologico pessimo, mentre 1 indica uno stato ecologico eccellente. I valori intermedi rappresentano diversi livelli di qualità ecologica, con soglie specifiche che determinano le classi di stato ecologico come "buono", "moderato", "scarso", ecc. (Fenoglio et al., 2019).

L'indice STAR_ICMi risulta dunque essere cruciale per fornire una valutazione quantitativa e qualitativa dello stato ecologico dei fiumi, la quale può essere sfruttata per vari scopi, quali:

- Monitoraggio ambientale: permette di monitorare lo stato qualitativo (qualità ecologica) dei corsi d'acqua nel tempo, identificando eventuali cambiamenti;
- Gestione delle risorse idriche: fornisce dati essenziali per la gestione sostenibile delle acque, aiutando a definire le politiche conservazionistiche e gestionali dei diversi ecosistemi fluviali;
- Conformità normativa: aiuta gli Stati membri dell'UE a conformarsi ai requisiti della Direttiva Quadro sulle Acque, assicurando che i corpi idrici raggiungano un "buono stato ecologico";
- Valutazione dell'impatto ambientale: consente di valutare l'impatto delle attività antropiche (come urbanizzazione, agricoltura, varie forme di inquinamento, immissioni di specie alloctone, ecc.) sulla qualità ecologica dei fiumi. Nel caso di questo lavoro di tesi l'indice viene impiegato per comprendere l'effetto delle immissioni di trote fario nella roggia Uselino.

2.5 Scopo della tesi

Lo scopo di questo lavoro di tesi è quello di comprendere l'eventuale impatto ecologico dell'immissione di *S. trutta* (trote fario) in una roggia situata in provincia di Padova. Ciò viene fatto attraverso una duplice indagine: con l'analisi della comunità di macroinvertebrati, che ci consente di osservare eventuali variazioni sulla qualità ecologica di queste acque, e con l'analisi della comunità di pesci di piccola taglia, che sono potenziale oggetto di predazione da parte della trota fario.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Le rogge Uselino e Cumana

Lo studio si concentra su due rogge situate nel comune di San Pietro in Gù, nella provincia di Padova: la roggia Uselino e la roggia Cumana. I tratti da esse coperti sono simili in termini di lunghezza e posizione geografica, tant'è che le due rogge seguono percorsi paralleli distinti, da una distanza minima tra loro di circa 2 m fino a un massimo di appena 400 m circa. Entrambe appartengono al sistema fluviale del Destra Brenta (Bacino idrografico Brenta Bacchiglione) e sono alimentate dalle stesse sorgenti presenti nell'area dell'alta Vicentina e Padovana. Di conseguenza, condividono caratteristiche morfologiche, biologiche ed ecologiche simili.

- La roggia Uselino, di origine risorgiva, nasce in territorio vicentino e percorre circa 5 km in provincia di Padova, prima di confluire nella roggia Armedola nei pressi del comune di San Pietro in Gù. Questo corso d'acqua ha caratteristiche ritraliche⁴, con un alveo composto principalmente da ghiaia e sabbia. Le portate idriche della roggia Uselino subiscono notevoli variazioni di regime, oscillando tra 100 e 1.000 l/s. Le portate originarie, modeste a causa delle acque sorgive, vengono integrate con ingenti quantità di acqua derivata dal fiume Brenta, soprattutto nel periodo primaverile-estivo, quando la domanda irrigua è maggiore (Turrin & Locatelli, 2010).
- La roggia Cumana è un ambiente ritrale di natura risorgiva, che ha origine da alcune polle⁵ situate nel territorio della provincia di Vicenza. Il suo percorso si sviluppa per circa 5 km nel territorio comunale di San Pietro in Gù, per poi uscire dal territorio provinciale con il nome di roggia Garzadora, che a sua volta confluisce nella roggia Armedola a pochi chilometri più a valle. L'alveo presenta un substrato a granulometria mista, prevalentemente composto da ghiaia e sabbia. La fascia riparia è ben sviluppata, costituita da filari di alberi senza particolari interruzioni, e vi è una buona presenza di vegetazione macrofitica nell'alveo (Turrin & Locatelli, 2010).

Entrambe le rogge sono gestite dalla Società Mandamentale Pescatori Sportivi (S.M.P.S.) "La Sorgente"⁶, il cui presidente è Steve Fasolo, dove tale società possiede la concessione di queste acque da 50 anni. Il tratto coinvolto va dal confine con la provincia di Vicenza fino al Ponte S.S. 53/Ferrovia TV-VI (Appendice 1 e 2). Grazie a questa concessione, l'associazione di pescatori sportivi ha suddiviso i

⁴ Il termine "ritraliche" (o "rhitraliche") si riferisce a caratteristiche tipiche dei tratti superiori dei corsi d'acqua, spesso chiamati "ritral" in ecologia fluviale. Questi tratti sono solitamente situati nelle zone di testa di un bacino idrografico e sono caratterizzati da acque fresche, ben ossigenate e con una corrente relativamente veloce, comportando anche un substrato tipicamente ghiaioso o roccioso, e flora e fauna specifiche, adattate a tali condizioni ambientali (ad esempio, la trota) (Vannote et al., 1980; Giller & Malmqvist 1998).

⁵ Le polle sono aree d'acqua stazionaria o a flusso molto lento che si trovano nel terreno e che possono accumulare acqua da sorgenti sotterranee, precipitazioni o altri contributi idrici. Nel caso della roggia Cumana sono dovute all'accumulo di acqua risorgiva (Giller & Malmqvist 1998).

⁶ <https://www.lasorgentesmps.it/>

diversi corsi d'acqua in zone pescabili, suddivise tra zone in cui poter trattenere il pescato, zone No Kill⁷, e zone di ripopolamento in cui vige il divieto di pesca.

In particolare la roggia Uselino appartiene a quei tratti di fiume in cui è possibile effettuare l'attività di pesca e anche trattenere il pescato. Nei 50 anni di gestione di queste acque da parte della società La Sorgente, per consentire la pesca nella roggia Uselino, la prima settimana di sette giorni di ogni mese da marzo ad agosto (con condizioni meteo favorevoli, in quanto in caso contrario le immissioni possono essere salate per un mese), vengono immesse trote fario (*S. trutta*) adulte, definite "pronto pesca": ci si riferisce a pesci che sono stati allevati o coltivati in modo da raggiungere una dimensione ottimale per essere immessi in un corso d'acqua, come un fiume, un lago o un bacino, dove poi possono essere pescati dai pescatori sportivi. Questi pesci sono solitamente selezionati dall'uomo e fatti crescere fino a raggiungere una dimensione che li renda attraenti per la pesca, garantendo al contempo una buona probabilità di sopravvivenza dopo il rilascio. In tal caso vengono rilasciati esemplari di circa 300 g di peso, per una lunghezza attorno ai 28 cm. Questa pratica di rilascio di pesci pronto pesca è comune in molte attività di pesca sportiva e di conservazione delle risorse ittiche.

A differenza della Uselino, nella roggia Cumana vige il divieto di pesca, infatti viene definita come "Zona di Riposo Biologico". Ciò significa che in questo corso d'acqua non può essere effettuata alcuna attività di pesca da parte dei pescatori sportivi e non vengano mai immesse trote adulte ma solo piccoli esemplari di trote selvatiche, ottenute da attività di recupero di pesci da altri corsi d'acqua limitrofi (www.lasorgentesmps.it).

3.2 Siti di campionamento

L'analisi della biodiversità e dell'abbondanza di macroinvertebrati bentonici e pesci di piccola taglia è stata condotta in entrambe le rogge oggetto di studio, Uselino e Cumana. Questi corsi d'acqua sono stati selezionati sulla base delle loro similitudini morfologiche ed ecologiche, nonché per la loro prossimità geografica. La scelta di rogge adiacenti riveste un'importanza cruciale per il riconoscimento di eventuali fattori esterni che potrebbero diversamente alterare le comunità biologiche presenti. Essendo le rogge situate nello stesso contesto ambientale, eventuali differenze osservate nelle comunità di macroinvertebrati o pesci di piccola taglia possono essere interpretate più chiaramente come conseguenze dirette dell'intervento d'immissione delle trote, piuttosto che essere attribuite a fattori ambientali differenti. Inoltre, la vicinanza geografica facilita le operazioni di campionamento, consentendo di condurre i rilevamenti in entrambe le rogge in tempi ravvicinati, garantendo una maggiore coerenza e comparabilità dei dati raccolti.

La dimensione dell'area di campionamento è stata selezionata per essere rappresentativa del tratto fluviale, in funzione della larghezza del corpo idrico, seguendo le indicazioni fornite dall'ISPRA (ISPRA 2014; Buffagni et al. 2007).

⁷ Zone No Kill, ovvero zone in cui è concessa la pesca con alcune limitazioni tecniche sulla attrezzatura di pesca, ovvero che danneggi e stressi il meno possibile il pesce pescato, ma soprattutto il nome di tali zone deriva dal fatto che alla cattura di un pesce questo dovrà essere rilasciato vivo.

3.2.1 Sito US

Il sito di campionamento della roggia Uselino (da ora denominato “Sito US”), è situato circa 100 m a Sud di Via Giuseppe Garibaldi - Strada Provinciale 1 (SP1), in comune di San Pietro in Gù (PD) (Figura 1). La lunghezza del transetto è attorno ai 50 m. I campioni sono stati raccolti uniformemente in tutta l’area compresa in questa lunghezza e la larghezza del corso d’acqua, di circa 4.5 m; la roggia è infatti facilmente guadabile su tutto il tratto individuato, con una profondità media di 70 cm (Tabella 1). La roggia è affiancata da campi coltivati, i quali arrivano a 1-2 metri dalle sponde, consentendo la presenza di piante erbacee selvatiche, alberi e arbusti lungo tutta la riva del fiume. In particolare la riva di destra presenta tipicamente erba più alta rispetto alla sponda di sinistra, dovuta al regolare sfalcio del prato presente su quest’ultima. Al momento del campionamento, attraverso una valutazione visiva, è stato possibile definire che l’alveo del transetto era caratterizzato dalla presenza di macrofite acquatiche sommerse (SO, come indicato nelle schede di campo riportate in Appendice 5) alternate a substrato ghiaioso (GHI, vedi Appendice 5). Il flusso dell’acqua è apparso piuttosto uniforme all’interno del transetto e la corrente risulta di tipo increspato (rippled, RP; cfr. Appendice 5). Fotografie del sito di campionamento US in Appendice 3.

<i>Presenza rifugi ittiofauna</i>	4
<i>Velocità corrente</i>	3
<i>Integrità rive</i>	3
<i>Naturalità sezione</i>	3
<i>Integrità veget. Riparia</i>	2
<i>Largh. Alveo bagnato (m)</i>	6
<i>Largh. alveo di morbida (m)</i>	8
<i>Profondità max (cm)</i>	150
<i>Profondità media (cm)</i>	70
<i>Massi %</i>	0
<i>Sassi %</i>	0
<i>Ciottoli %</i>	10
<i>Ghiaia %</i>	20
<i>Sabbia %</i>	60
<i>Limo %</i>	10
<i>Pozze %</i>	30
<i>Raschi %</i>	0
<i>Correntini %</i>	70
<i>Copertura vegetale %</i>	50

Tabella 1: Caratteristiche generali della roggia Uselino. In questa descrizione dell’ambiente fluviale i primi cinque parametri ecologici (presenza di rifugi ittiofauna, velocità della corrente, integrità delle rive, naturalità della sezione e integrità della vegetazione riparia) che caratterizzano il tratto di corso d’acqua campionato, sono state stimate mediante una scala di valori che va da 0 a 5 (Turrin e Locatelli, 2010). Va specificato che non sempre le caratteristiche generali dell’intero corso d’acqua rispecchiano quelle osservate nel tratto di campionamento. In questo caso il substrato non era prevalentemente sabbioso come riportato in tabella, ma ghiaioso.

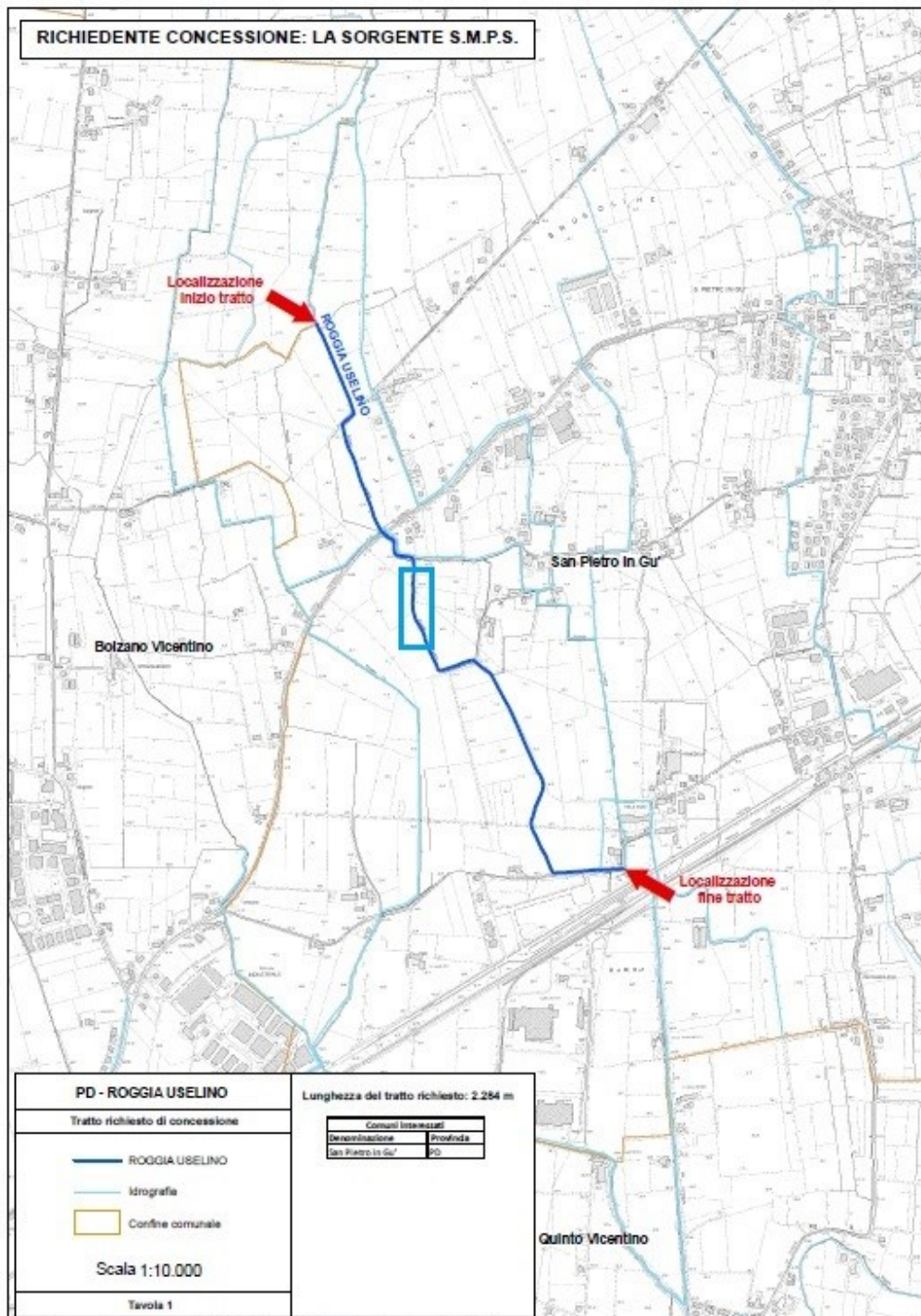


Figura 1: Sito US. (Mappa di riferimento gentilmente concessa da La Sorgente s.m.p.s.). Il riquadro di colore azzurro rappresenta il tratto di roggia campionato. Le scritte in rosso “Localizzazione inizio/fine tratto” indicano invece la delimitazione dell’area di competenza della Società mandamentale pescatori sportivi La Sorgente.

3.2.2 Sito CU

L’area di campionamento della roggia Cumana (da ora denominato “Sito CU”), anche per tale roggia ha inizio circa 100 m a Sud di Via Giuseppe Garibaldi - Strada Provinciale 1 (SP1), in comune di San Pietro in Gù (PD), in particolare dove i corsi

delle due rogge si separano tra loro (Figura 2). Anche in tal caso la lunghezza del transetto è di circa 50 metri, e i campioni sono stati raccolti lungo tutta questa lunghezza e l'intera larghezza del corso d'acqua (larghezza alveo bagnato: 3 m), il quale risulta facilmente guadabile (profondità media di 40 cm, e massima di 100 cm). Le sponde presentano le medesime caratteristiche di quelle del Sito US, con l'unica differenza legata allo sfalco dell'erba, maggiore sulla sponda destra. Al momento del campionamento, il letto del transetto presentava macrofite sommerse (SO, vedi Appendice 5) dove annoverano presenze di taxa di valore come *Callitriche* spp. e *Ranunculus* sp. (Turrin e Locatelli, 2010), con una copertura media del 10%. Al momento del campionamento il substrato risultava essere misto, prevalentemente di ghiaia (GHI, cfr. Appendice 5) e limo/argilla (ARG, vedi Appendice 5). Le caratteristiche del substrato dell'intero corso d'acqua sono riportate in percentuale nella seguente Tabella 2. Il flusso dell'acqua appariva piuttosto uniforme all'interno del transetto, con una corrente di tipo increspato (rippled, RP; cfr. Appendice 5). Fotografie del sito di campionamento US in Appendice 4.

<i>Presenza rifugi ittiofauna</i>	5
<i>Velocità corrente</i>	3
<i>Integrità rive</i>	4
<i>Naturalità sezione</i>	4
<i>Integrità veget. Riparia</i>	3
<i>Largh. Alveo bagnato (m)</i>	4
<i>Largh. alveo di morbida (m)</i>	4
<i>Profondità max (cm)</i>	100
<i>Profondità media (cm)</i>	40
<i>Massi %</i>	0
<i>Sassi %</i>	0
<i>Ciottoli %</i>	10
<i>Ghiaia %</i>	40
<i>Sabbia %</i>	40
<i>Limo %</i>	10
<i>Pozze %</i>	20
<i>Raschi %</i>	0
<i>Correntini %</i>	80
<i>Copertura vegetale %</i>	40

Tabella 2: Caratteristiche generali della roggia Cumana. In questa descrizione dell'ambiente fluviale i primi cinque parametri ecologici (presenza di rifugi ittiofauna, velocità della corrente, integrità delle rive, naturalità della sezione e integrità della vegetazione riparia) che caratterizzano il tratto di corso d'acqua campionato, sono state stimate mediante una scala di valori che va da 0 a 5 (Turrin e Locatelli, 2010). Rispetto alla analisi dei parametri ecologici riportata dalla carta ittica regionale più recente (Busatto e Turrin, 2022) questa si discosta per la copertura della vegetazione acquatica, che risulta essere diminuita. Va specificato che non sempre le caratteristiche generali dell'intero corso d'acqua rispecchiano quelle osservate nel tratto di campionamento. In questo caso il tratto di alveo campionato presentava più limo e ghiaia, e meno sabbia.

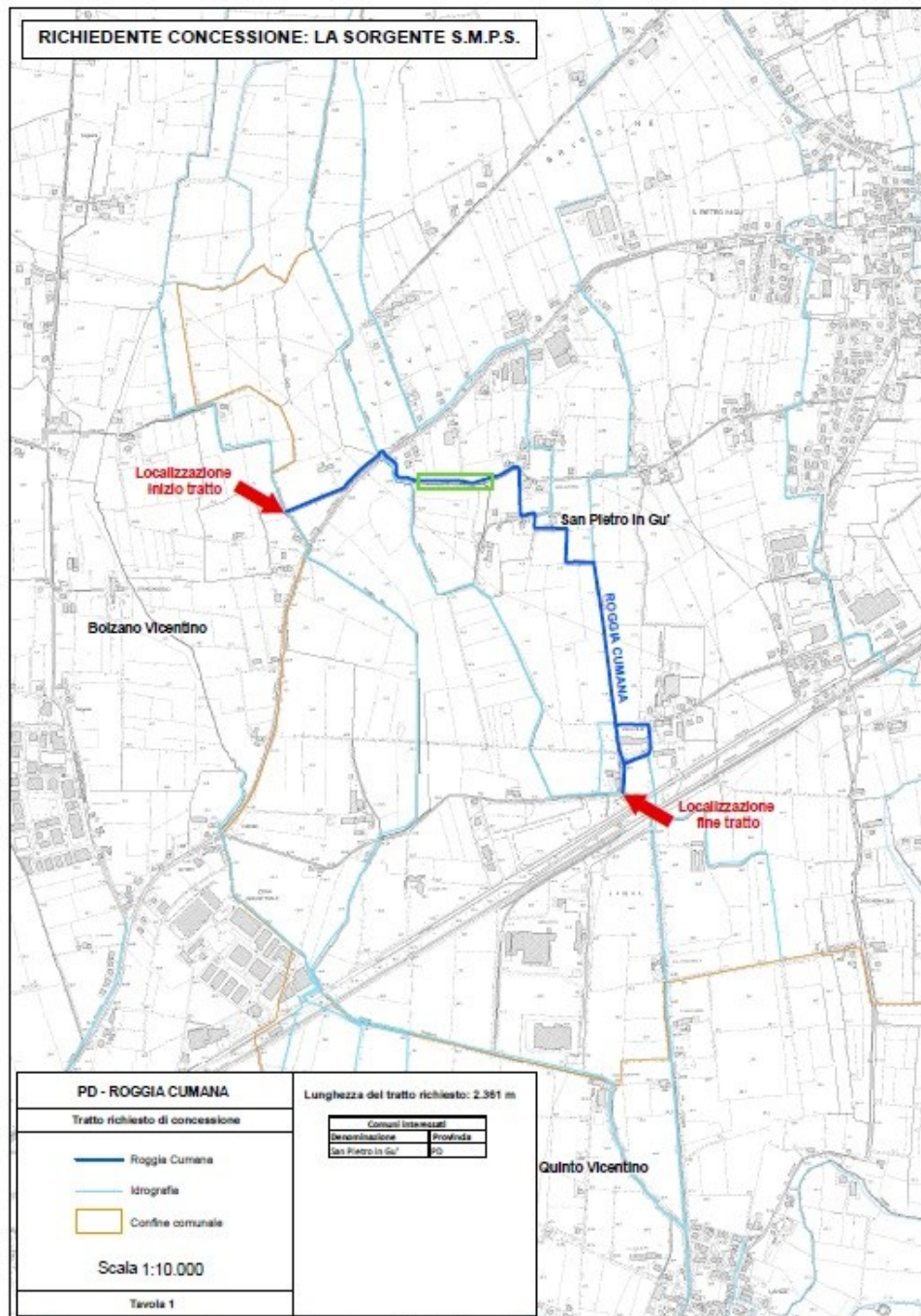


Figura 2: Sito CU. (Mappa di riferimento gentilmente concessa da La Sorgente s.m.p.s.). Il riquadro di colore azzurro rappresenta il tratto di roggia campionato. Le scritte in rosso “Localizzazione inizio/fine tratto” indicano invece la delimitazione dell’area di competenza della Società mandamentale pescatori sportivi La Sorgente.

Grazie alle sue caratteristiche morfologiche ed ecologiche piuttosto simili alla roggia Uselino, tale corso d’acqua fungerà da controllo.

La presenza di un corso d’acqua di controllo, come la roggia Cumana, è essenziale per ottenere una valutazione accurata degli effetti dell’introduzione delle trote fario sull’ecosistema acquatico. Questo approccio consente di distinguere tra i cambiamenti imputabili alla presenza del predatore (fattore fisso) e quelli derivanti da variabili ambientali o stagionali (fattori random). La roggia Cumana fornisce una baseline di confronto, fondamentale per valutare le variazioni nell’abbondanza

e nella diversità delle specie nella roggia Uselino, soggetta all'introduzione delle trote. Tale confronto permette di attribuire con maggiore precisione eventuali cambiamenti ecologici specificamente all'immissione del predatore, escludendo altri fattori esterni. Inoltre, il corso d'acqua di controllo consente di monitorare variabili ambientali e antropiche, garantendo che le differenze osservate siano effettivamente riconducibili all'introduzione delle trote. Ovvero, nel caso in cui nella roggia Cumana le condizioni ecologiche dovessero rimanere relativamente stabili mentre si rilevassero variazioni significative nella biodiversità e nell'abbondanza di macroinvertebrati e pesci di piccola taglia nella Uselino, ciò suggerirebbe che l'immissione delle trote abbia influenzato l'ecosistema. Infine, l'analisi comparativa tra le rogge permette di valutare l'effetto Top-Down del predatore, evidenziando come la predazione delle trote possa influenzare la struttura delle popolazioni di macroinvertebrati e piccoli pesci.

3.3 Campionamenti

In questa sezione, vengono presentati i dettagli dei campionamenti effettuati nelle due rogge studiate, Uselino e Cumana. L'obiettivo principale dei campionamenti è quello di osservare le comunità di macroinvertebrati e pesci di piccola taglia presenti in questi corsi d'acqua e valutare gli effetti dell'introduzione della trota fario sulla loro struttura e abbondanza.

Le rogge Uselino e Cumana, entrambe di natura risorgiva e con caratteristiche morfologiche e ecologiche simili, sono state scelte come siti di studio per analizzare l'impatto ecologico dell'immissione di una specie alloctona predatrice. Nella roggia Uselino, i campionamenti sono stati effettuati sia prima che dopo l'introduzione delle trote fario, permettendo un confronto temporale per valutare il controllo top-down esercitato da questa specie sulla comunità biologica del corso d'acqua. Nelle stesse giornate è stata campionata la roggia Cumana nella quale però non sono state introdotte le trote, consentendo di isolare gli effetti specifici della predazione rispetto alle variazioni naturali della comunità e dunque utilizzare questa roggia come sito di controllo. In particolare il primo campionamento (pre-immissione) è stato effettuato il giorno 03/06/2024, mentre il secondo (post-immissione) è stato effettuato circa due settimane dopo l'immissione delle trote (avvenuta il giorno 06/06/2024), ovvero il 21/06/2024, per consentire un tempo sufficiente affinché si manifestassero gli effetti ecologici iniziali della predazione e delle interazioni trofiche indotte dall'introduzione del predatore. Questo intervallo temporale permette di osservare eventuali cambiamenti nella struttura della comunità di macroinvertebrati, come la riduzione delle specie più vulnerabili alla predazione o la riorganizzazione delle dinamiche trofiche. Tale scelta metodologica riflette la necessità di bilanciare tra due aspetti: da un lato, dare abbastanza tempo affinché le trote influenzino significativamente le popolazioni di macroinvertebrati; dall'altro, evitare un periodo troppo lungo che potrebbe introdurre ulteriori variabili ambientali o stagionali non legate direttamente alla presenza del predatore. In questo modo, si massimizza la probabilità di catturare gli effetti diretti della predazione delle trote sulle comunità bentoniche (Meissner & Muotka, 2006).

3.3.1 Pesci di piccola taglia

I pesci di piccola taglia, rivestono un ruolo cruciale come indicatori di qualità ecologica nei corsi d'acqua. La loro presenza, abbondanza e diversità possono fornire informazioni dettagliate sulla salute dell'ecosistema fluviale, in quanto certe specie risultano particolarmente sensibili ai cambiamenti ambientali, come l'inquinamento, le alterazioni del flusso e la perdita di habitat, rendendoli eccellenti bioindicatori. In certi casi la loro analisi può rivelare condizioni di stress ambientale prima che queste diventino evidenti in specie di maggiori dimensioni, consentendo di trovare soluzioni prima che l'ecosistema collassi.

Nella catena trofica fluviale, i pesci di piccola taglia occupano una posizione intermedia: si nutrono principalmente di invertebrati acquatici e piccoli organismi, trasferendo l'energia a livelli trofici superiori, in quanto prede di pesci più grandi, come le trote. La presenza di abbondanti popolazioni di pesci di piccola taglia sostiene le popolazioni di trote e altri predatori, evidenziando una rete alimentare sana e bilanciata (Simon, 1999).

In questo lavoro di tesi, la cattura e l'analisi dei pesci di piccola taglia prelevati nelle rogge Uselino e Cumana sono essenziali per comprendere se l'improvvisa immissione di una grande quantità di predatori possa avere qualche effetto negativo sulla comunità delle loro prede, e di conseguenza sulla struttura e la funzionalità dell'ecosistema fluviale.

3.3.2 Elettropesca

Per svolgere l'analisi sulla biodiversità e qualità della comunità di pesci di piccola taglia è stata sfruttata la pesca elettrica, anche chiamata elettropesca. Questo termine rappresenta quella tipologia di pesca scientifica attuata mediante l'impiego di elettrostorditori (Figura 3), in accordo con quanto definito dalla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (European Union, 2000). Questo metodo di cattura risulta essere quello prioritario sia nei tratti di corsi d'acqua guadabili (profondità < 0,7 m) sia in quelli dove si rende necessario l'utilizzo di un'imbarcazione (> 0,7 m) (CEN: EN 14011).

Va sempre tenuto in considerazione che la pesca elettrica, se utilizzata correttamente, non è considerata dannosa per i pesci. Tuttavia, un suo utilizzo improprio può causare danni irreversibili ai pesci esposti all'elettricità, perciò durante le operazioni di pesca scientifica la salute della fauna ittica catturata deve essere prioritaria (Sollazzo et al., 2007).



Figura 3: Elettrostorditore impiegato dagli operatori della associazione di pesca “La Sorgente s.m.p.s.” per svolgere la pesca scientifica nelle rogge Uselino e Cumana. Questo strumento permette di scegliere che tipo di corrente utilizzare se continua o ad impulsi. Nel caso di questi campionamenti è stata utilizzata corrente ad impulsi.

Il periodo più idoneo per la pesca con l'elettrostorditore risulta essere quello estivo, durante il quale si rilevano le portate minime dei corsi d'acqua italiani, accompagnate da condizioni meteo e climatiche più favorevoli. Oltre al periodo, risulta essere pratica condivisa quella del calcolo della lunghezza dell'area da campionare, ossia pari a 20 volte la larghezza dell'alveo (Sollazzo et al., 2007). In tal caso infatti la lunghezza del tratto campionato con l'elettrostorditore della roggia Uselino (larghezza media 4.5 m) era di circa 90 m, mentre nel caso della Cumana (larghezza media 3 m) era di poco più di 60 m.

Nel caso di corsi d'acqua guadabili e di piccole dimensioni come le rogge oggetto di studio, la pesca elettrica può essere effettuata sia da dentro che da fuori dall'acqua, utilizzando indifferentemente corrente lineare (continua) o ad impulsi (utilizzata nei campionamenti per questo lavoro di tesi), che a differenza della prima eroga brevi impulsi elettrici, rendendola più efficace nella cattura dei pesci, ma allo stesso tempo può essere più pericolosa per i pesci; per questo motivo viene impiegata quando è necessario catturare pesci rapidamente o le condizioni del corpo idrico rendono la corrente continua meno efficace (Snyder, 2003). Per massimizzare ulteriormente la cattura, va tenuta in considerazione anche la larghezza dell'alveo, in quanto si tende ad impiegare un anodo ogni 5 m di larghezza. In questa operazione di pesca, gli operatori si muovono controcorrente, da valle verso monte del fiume, per evitare di smuovere il fondale e alzare così materiale in sospensione, diminuendo la visibilità in acqua.

I dati di cattura ottenuti possono essere impiegati per la stima di: abbondanza delle specie ittiche (relativa o assoluta), composizione in specie e struttura delle popolazioni (età o taglia) (Sollazzo et al., 2007).

3.3.3 Campionamento di Macroinvertebrati

Il biomonitoraggio e la valutazione della qualità dei fiumi sono resi più semplici grazie all'uso dei macroinvertebrati bentonici. Questi piccoli organismi sono definiti come “invertebrati facilmente visibili senza ingrandimenti (> 0,5 mm)” (ISPRA, 2014), ampiamente diffusi in tutti i corsi d'acqua, caratterizzati da una limitata mobilità e dalla presenza di gruppi con diverse sensibilità alle cause di alterazione. Inoltre, sono relativamente facili da raccogliere e identificare e svolgono molti ruoli importanti nella rete trofica fluviale.

Questa sezione riporta il protocollo descritto dall'ISPRA (2014) e impiegato in questo lavoro di tesi per raccogliere e determinare la composizione e l'abbondanza dei macroinvertebrati bentonici, con l'obiettivo di studiare le caratteristiche delle comunità e valutare lo stato ecologico dei fiumi guadabili. Il metodo descritto è conforme con le normative vigenti, quali: la Direttiva 2000/60/CE, il D.Lgs. n. 152/2006 e i relativi decreti attuativi (DM n. 131/2008, DM n. 56/2009, DM n. 260/2010).

Questo metodo si basa su un approccio multihabitat proporzionale, che significa prendere in considerazione diversi microhabitat⁸ presenti in un fiume. Per comprendere meglio questo concetto possiamo immaginare il fiume come un grande ecosistema composto da diversi "quartieri" o "zone": per esempio ci possono essere le rapide o le pozze, solo per citarne alcune, caratterizzate da substrati costituiti maggiormente da vegetazione acquatica, ghiaia o sabbia che sia. Ogni zona ha una sua importanza e una sua composizione di organismi viventi, come i macroinvertebrati bentonici⁹. Perciò per ottenere un quadro completo della salute del fiume, è importante raccogliere campioni di macroinvertebrati in modo proporzionale alle diverse zone presenti. Ad esempio, se ci sono più rapide rispetto alle pozze, dovremmo raccogliere meno campioni da queste ultime per avere una rappresentazione accurata dell'ecosistema. Questa tecnica di campionamento multihabitat proporzionale è fondamentale per ottenere dati standardizzati e ridurre la variabilità legata al momento del campionamento. In questo modo, possiamo ottenere informazioni affidabili sulla qualità dell'ecosistema fluviale e prendere decisioni informate per la sua conservazione e gestione.

Questa procedura di campionamento può essere utilizzata per tutti i fiumi guadabili e facilmente accessibili, ovvero quei tratti di fiume in cui è possibile raggiungere in sicurezza una parte sufficientemente ampia del letto per poter studiare tutti i principali microhabitat presenti nel sito. A titolo orientativo, possono essere considerati guadabili quei corsi d'acqua il cui alveo è accessibile per almeno un terzo della sua ampiezza (ISPRA, 2014).

⁸ Microhabitat: porzione dell'ambiente fluviale caratterizzata da omogeneità di substrato, minerale o biotico che sia (ISPRA, 2014).

⁹ Bentonico: associato al substrato del fondo di un ambiente acquatico o ancorato ad esso (ISPRA, 2014).

3.3.4 Tipizzazione dei corsi d'acqua di interesse

L'indice STAR_ICMi tiene in considerazione il confronto di condizioni di riferimento precedentemente stabilite legate ai corpi idrici oggetto di studio, come definito dalla Direttiva Quadro Acque (WFD, 2000/60/EC). Tali condizioni di riferimento vengono attribuite ai siti di campionamento secondo la tipizzazione.

In particolare le due rogge oggetto di studio sono entrambe appartenenti all'idroecoregione 6 (HER6 – codice 06), in quanto situate in Pianura Padana, ed essendo attraversate da acqua risorgiva sono categorizzate come acque sotterranee (AS). Nel caso di questi corsi d'acqua l'influenza del bacino a monte è considerabile come nulla o trascurabile (T), in quanto si trovano in zona di risorgive, ovvero zone caratterizzate da un'elevata presenza di sorgenti di acqua che generano e alimentano il fiume stesso. Per questo motivo, il numero 6 nel codice di tipizzazione di tali rogge rappresenta una distanza dalla sorgente inferiore ai 10 km.

Il risultato di questa codifica della tipologia fluviale delle rogge Cumana e Uselino è 06.AS.6.T, che oltretutto risulta essere il tipo fluviale più frequente in regione (ArpaV e Regione Veneto, 2015).

Questa operazione di tipizzazione risulta essere particolarmente importante per la determinazione non solo dei corretti siti di riferimento nel calcolo dell'indice, ma anche per la grandezza dello strumento da utilizzare durante il campionamento.

Queste rogge possiedono anche un codice Regionale identificativo, ovvero BB_78 per la roggia Cumana, e BB_79 per la roggia Uselino, utilizzati per la loro identificazione nella carta ittica regionale più aggiornata (Busatto e Turrin, 2022).

3.3.5 Rete Surber

La rete Surber (Figura 4) è lo strumento impiegato per il campionamento dei macroinvertebrati bentonici. Questa è caratterizzata dalla presenza di un'intelaiatura di forma quadrata (raramente rettangolare), affiancata da pareti laterali, solitamente in metallo (acciaio o lega di alluminio), situate anteriormente all'apertura del retino. Nel nostro caso le dimensioni dell'intelaiatura, che definisce l'unità (area di substrato) di campionamento, sono di 0,22x0,23 m (pari ad una superficie unitaria di 0,05 m²), mentre nel caso di corsi d'acqua di più grandi dimensioni vengono impiegati retini con un'intelaiatura di 0,32x0,32 m (ovvero 0,1 m²). La rete vera e propria ha una forma conica, con una lunghezza approssimativa di 0,6 m. La dimensione delle maglie della rete è di 500 µm, sufficiente da non consentire l'uscita di macroinvertebrati. Alla parte terminale del sacco è presente un bicchiere di raccolta (opzionale, presente nel caso del lavoro di questa tesi). Per una maggiore comodità d'uso, la rete Surber può essere dotata di un manico avvitabile nella parte superiore dell'intelaiatura. L'uso della rete Surber è indicato per tutti gli habitat poco profondi (al di sotto di 0,5 m) con corrente elevata, media, scarsa o nulla (ISPRA, 2014).



Figura 4: Rete Surber impiegata per i campionamenti dei macroinvertebrati bentonici fluviali.

3.3.6 Valutazioni preliminari sul sito di campionamento

Il giorno stesso del campionamento si è osservato preliminarmente il sito in esame, compilando la scheda di campo (Appendice 5) e stimando la quantità relativa dei diversi substrati o microhabitat (Tabella 3). Questa valutazione ha permesso di decidere i punti di prelievo dei campioni di macroinvertebrati. Nell'operazione di campionamento è stato seguito, e riadattato alle rogge oggetto di studio, il metodo di campionamento multihabitat proporzionale definito dall'ISPRA (2014), dove andrebbero eseguite 10 repliche in base alla proporzione di microhabitat presenti.

In tal caso, avendo a che fare con corsi d'acqua di piccole dimensioni con caratteristiche piuttosto omogenee lungo il loro percorso, e avendo a disposizione tempo e risorse limitate, tale metodologia è stata riadattata alla situazione: a partire dalla lunghezza totale del tratto campionato, la quale è stata ridotta a 50 m, e allo stesso modo il numero di repliche, portato a 5, ma sempre effettuandole in modo da rispettare la proporzionalità dei diversi microhabitat presenti.

Oltre a considerare il substrato del corso d'acqua, è necessario identificare il mesohabitat, basato sulla turbolenza del flusso d'acqua, classificato nelle categorie: riffle, pool¹⁰ o generico (quando le prime due categorie non sono distinguibili). Nel nostro caso, il mesohabitat è risultato generico.

¹⁰ Sequenza dei mesohabitat riffle/pool: "costituita da due aree contigue che presentano caratteristiche di turbolenza, profondità, granulometria del substrato e carattere deposizionale/erosionale comparativamente diverso." (ISPRA, 2014).

	Microhabitat	Codice	Descrizione
MICROHABITAT MINERALI	Limo/Argilla < 6 µ	ARG	Substrati limosi, anche con importante componente organica, e/o substrati argillosi composti da materiale di granulometria molto fine che rende le particelle che lo compongono adesive, compattando il sedimento che arriva talvolta a formare una superficie solida.
	Sabbia 6 µ -2 mm	SAB	Sabbia fine e grossolana
	Ghiaia 0.2-2 cm	GHI	Ghiaia e sabbia grossolana (con predominanza di ghiaia)
	Microlithal* 2- 6 cm	MIC	Pietre piccole
	Mesolithal* 6-20 cm	MES	Pietre di medie dimensioni
	Macrolithal* 20-40 cm	MAC	Pietre grossolane della dimensione massima di un pallone da rugby
	Megalithal* > 40 cm	MGL	Pietre di grosse dimensioni, massi, substrati rocciosi di cui viene campionata solo la superficie
	Artificiale (e.g. cemento)	ART	Cemento e tutti i substrati immessi artificialmente nel fiume
	Igropetrico	IGR	Sottile strato d'acqua su substrato solido generalmente ricoperto di muschi
¹ (le dimensioni indicate si riferiscono all'asse intermedio)			
MICROHABITAT BIOTICI	Alghe	AL	Principalmente alghe filamentose; anche Diatomee o altre alghe in grado di formare spessi feltri perifitici
	Macrofite sommerse	SO	Macrofite acquatiche sommerse. Sono da includere nella categoria anche muschi, Characeae, etc.
	Macrofite emergenti	EM	Macrofite emergenti radicate in alveo (e.g. <i>Thypha</i> , <i>Carex</i> , <i>Phragmites</i>)
	Parti vive di piante terrestri (TP)	TP	Radici fluitanti di vegetazione riparia (e.g. radici di ontani)
	Xylal (legno)	XY	Materiale legnoso grossolano e.g. rami, legno morto, radici (diametro almeno pari a 10 cm)
	CPOM	CP	Deposito di materiale organico particellato grossolano (foglie, rametti)
	FPOM	FP	Deposito di materiale organico particellato fine
	Film batterici	BA	Funghi e sapropel (e.g. <i>Sphaerotilus</i> , <i>Leptomitus</i>), solfobatteri (e.g. <i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i>)

Tabella 3: Riporta i principali microhabitat fluviali presenti in Italia (Buffagni et al., 2007).

3.3.7 Procedimento

Il campionamento è iniziato dalla cattura di pesci di piccola taglia mediante l'impiego dell'elettrostorditore, manovrato da personale dell'associazione "La Sorgente" specializzato e formato per il suo utilizzo, la quale è dotata non solo dell'attrezzatura necessaria ma anche di tutti i permessi richiesti per poter praticare questo tipo di pesca scientifica (Figura 5). Questa operazione è stata svolta precedentemente al campionamento dei macroinvertebrati in modo da evitare di disturbare e far fuggire le specie di pesci presenti, vanificando così la loro cattura. Allo stesso tempo tali manovre devono, e sono state svolte, più a valle rispetto al sito dedicato al campionamento dei macroinvertebrati in quanto il semplice calpestio della zona rappresenterebbe un forte stress per i macroinvertebrati bentonici, mandando in fumo il loro campionamento.



Figura 5: operatori dell'associazione "La Sorgente" durante il campionamento dei pesci di piccola taglia nella roggia Uselino.

Sia nel caso del campionamento dei pesci di piccola taglia sia in quello dei macroinvertebrati, il protocollo prevede di muoversi nel corso d'acqua sempre da valle verso monte, così che il materiale mosso in acqua non vada a compromettere il campionamento dei siti più a valle.

Per quanto riguarda il campionamento dei macroinvertebrati, ogni replica è stata effettuata posizionando l'imboccatura della rete Surber controcorrente, così che smuovendo il materiale del substrato compreso nel telaietto di 0,22x0,23 m, gli organismi mobilitati finissero all'interno del retino mediante la corrente dell'acqua. In tutti i casi, l'acqua era sufficientemente bassa da consentire di smuovere il substrato con le mani (muniti di appositi guanti a gomito in gomma spessa, dalla lunghezza di 70 cm), facendo attenzione a non far entrare grandi quantità di substrato nella rete, come definito dalle modalità di campionamento descritte dall'ISPRA (2014). Una volta fatto ciò, il retino veniva sollevato fuori dall'acqua, così da evitare l'entrata di eventuali macroinvertebrati non bentonici, e si poteva iniziare ad eliminare il materiale grossolano presente nella rete, facendo attenzione

a non perdere organismi: smuovendo eventuali macrofite all'interno della rete, e ripulendo con le mani eventuali ciottoli di grandi dimensioni (Figura 6).



Figura 6: procedimento di campionamento dei macroinvertebrati mediante l'impiego della rete Surber.

Ugualmente l'entrata di materiale più sottile è stata inevitabile, perciò è stato utilizzato sul luogo un sistema di doppi setacci, per separare il materiale grossolano e gli organismi di dimensioni maggiori attraverso un setaccio a maglie da 2 mm, e un secondo a maglie più sottili da 400 μm , che raccoglieva invece il materiale più sottile e i macroinvertebrati. Successivamente, la replica veniva raccolta in un apposito barattolo, al quale veniva aggiunta una soluzione di etanolo al 85% per consentirne la conservazione. Ogni barattolo è stato etichettato con la data del campionamento e la sigla della roggia corrispondente (CU o US), seguita da un numero da 1 a 5 che ne indica il numero della replica: dove 1 corrisponde alla prima "retinata" (replica) effettuata quindi più a valle nel sito e 5 all'ultima, situata più a monte.

Il secondo campionamento è stato effettuato dopo due settimane dall'immissione delle trote fario nella roggia Uselino, come descritto dal protocollo operativo impiegato negli esperimenti di Meissner et al. (2006).

3.4 Caratterizzazione dei siti

In questa fase di analisi dei dati raccolti sui macroinvertebrati bentonici (Appendice 6 dati dei macroinvertebrati raccolti), il numero di individui ottenuti per ogni famiglia è stato confrontato non solo tra le due rogge, ma è stato fatto anche un confronto intra-roggia, per poter osservare eventuali cambiamenti avvenuti nell'arco di due settimane. Per fare ciò è stato calcolato il cambiamento percentuale:

$$\text{Cambiamento percentuale} = \left(\frac{Nf - Ni}{Ni} \right) * 10$$

Dove:

- Nf = numero di individui nella popolazione (di una famiglia) al secondo campionamento (21/06/2024);
- Ni = numero di individui nella popolazione (di una famiglia) al primo campionamento (03/06/2024).

3.5 Analisi dei campioni e calcolo dell'indice STAR_ICMi

L'indice STAR_ICMi, per il suo corretto calcolo, prevede che i campioni di macroinvertebrati vengano smistati e riconosciuti sul campo, consentendo anche di minimizzare i danni che possono subire durante il loro trasporto immersi in soluzioni di etanolo al 85%, per l'eventuale riconoscimento di organismi dubbi in laboratorio. Per questo motivo il calcolo di tale indice mette già in conto i possibili errori di conteggio del numero di individui di ogni famiglia, in quanto in tale situazione risulta quasi impossibile contare ogni singolo individuo, soprattutto quando si ha a che fare con organismi di piccole dimensioni che si possono confondere e nascondere nel sedimento raccolto.

Nel nostro caso lo smistamento dei campioni è avvenuto sia sul campo che in laboratorio. Ovvero, nel caso del primo campionamento (del 03/06/2024), a causa della mancanza di esperienza e tempo, tutti e dieci i campioni sono stati raccolti per poi essere smistati in laboratorio. Lo smistamento in laboratorio è stato effettuato come sarebbe stato fatto sul campo, quindi analizzando una certa aliquota di campione alla volta su apposite vaschette (Figura 7), con l'impiego di strumenti semplici, quali pinzette, una spatolina in metallo, una pipetta Pasteur, una piastra Petri, lenti di ingrandimento e apposite chiavi dicotomiche per la classificazione delle famiglie di macroinvertebrati: Campaioli et al. 1994, Campaioli et al. 1999, Sansoni 2001.

Nel secondo campionamento, invece, sette campioni su dieci sono stati smistati e classificati direttamente sul campo e i rimanenti tre in laboratorio, mantenendo la medesima metodica utilizzata sul campo.

Sia che lo smistamento venisse fatto sul campo o in laboratorio, nel caso venissero trovati esemplari di dubbia classificazione o nuove famiglie da classificare, questi venivano posti in apposite provette da 50 ml con tappo avvitabile, etichettate con la data del campionamento e il nome della replica, e riempite con una soluzione di etanolo al 85%. Questa operazione permette di conservare gli organismi "dubbi",

così che possano essere osservati in un secondo momento allo stereomicroscopio per la loro corretta classificazione. In questo modo è stato possibile riconoscere tutti gli organismi individuati.



Figura 7: Postazione di lavoro per lo smistamento dei campioni in laboratorio.

I dati delle famiglie individuate e della loro abbondanza sono stati utilizzati per calcolare l'indice STAR_ICMi (Appendice 6, dati sulle famiglie di macroinvertebrati catturati). Per la buona riuscita del calcolo, in tal caso, il numero di individui di ogni famiglia rilevata è stato moltiplicato per 4 così da ottenere 1 m² di area totale, come richiesto dal protocollo di calcolo di questo indice di qualità ecologica. Una volta individuata l'idroecoregione e il tipo fluviale di appartenenza delle rogge oggetto di studio, è stato possibile effettuare il calcolo dell'indice utilizzando le metriche di riferimento per questo tipo di corso d'acqua. Con il valore dell'indice si può ottenere la Classe di stato Ecologico delle rogge (Tabella 4), dove per ogni classe è stato assegnato un colore rappresentativo, utile per le rappresentazioni grafiche (Tabella 5).

Elevato/Buono	Buono/Sufficiente	Sufficiente/Scarso	Scarso/Cattivo
0,960	0,720	0,480	0,240

Tabella 4: Limiti di classe per l'HER6, assegnata al Gruppo di Intercalibrazione Geografico (GIG) Centrale/Baltico (IRSA-CNR 2008). Questi valori rappresentano le soglie al di sotto delle quali il risultato dell'indice STAR_ICMi rientra nella classe di qualità ecologica immediatamente inferiore.

GIUDIZIO DI QUALITÀ	COLORE DI RIFERIMENTO
Elevato	Blu
Buono	Verde
Sufficiente	Giallo
Scarso	Arancione
Cattivo	Rosso

Tabella 5: STAR_ICMi, giudizio di qualità e colore di riferimento (Fenoglio et al., 2019).

3.6 Parametri ambientali analizzati

Per il corretto confronto degli ecosistemi delle due rogge, vanno tenuti in considerazione i vari parametri chimico-fisici di queste. Questo è importante perché per valutare correttamente l'impatto delle trote fario, le condizioni ambientali di base devono essere comparabili e simili tra loro, così da poter distinguere se le differenze tra le comunità di macroinvertebrati delle due rogge siano dovute alla presenza di trote nella roggia Uselino piuttosto che a differenze ambientali intrinseche. Infatti le due rogge sono morfologicamente molto simili tra loro, per questo motivo un'ulteriore conferma della loro similarità può essere data solo dai parametri chimico-fisici.

Per ottenere questi dati è stata impiegata una sonda multiparametrica WTW (modello Multi 3320). Questa sonda funziona tramite l'immersione dei suoi sensori direttamente nell'acqua da analizzare. Ogni sensore è specifico per un parametro e trasmette i dati raccolti a un'unità di controllo. L'unità di controllo elabora e visualizza i dati in tempo reale, permettendo un'analisi immediata delle condizioni chimico-fisiche dell'acqua. La sonda a nostra disposizione ci ha permesso di raccogliere dati su: pH, conducibilità, temperatura (T), e ossigeno disciolto (DO) (WTW GmbH, 2014).

3.7 L'Indice di diversità di Shannon

L'indice di diversità di Shannon, noto anche come indice di Shannon-Wiener, è una misura utilizzata in ecologia per quantificare la diversità di una comunità. Questa misura tiene conto sia del numero di specie presenti (ricchezza) che della distribuzione degli individui tra queste specie (equità). È particolarmente utile per confrontare la biodiversità tra ambienti differenti o nello stesso ambiente ma in tempi diversi. Utilizzando l'indice di Shannon, è possibile ottenere una misura quantitativa della diversità¹¹, che permette di comparare in modo oggettivo la biodiversità delle rogge Uselino e Cumana, contribuendo così a una migliore comprensione delle dinamiche ecologiche presenti in esse e alla gestione sostenibile degli ecosistemi fluviali (Fenoglio et al., 2019; ISPRA 2014).

L'indice di Shannon (H') viene calcolato utilizzando la seguente formula:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dove p_i corrisponde alla proporzione di individui appartenenti alla specie i rispetto al numero totale di individui di tutte le specie, ovvero la frequenza della i -esima famiglia di macroinvertebrati.

Confrontare l'indice di diversità di Shannon tra le rogge, Uselino e Cumana, è utile per diverse ragioni:

1. Valutazione della salute dell'ecosistema: un ecosistema con un'alta diversità generalmente indica un ambiente sano e stabile. Un confronto tra le due rogge permette di valutare se entrambe godono di condizioni ambientali simili o se una delle due presenta segni di degrado.
2. Effetti delle immissioni di trota fario: la diversità delle comunità di macroinvertebrati può essere influenzata dall'introduzione di specie

¹¹ Valori più alti dell'indice di Shannon indicano una maggiore diversità, mentre valori più bassi indicano una minore diversità.

predatrici come la trota fario. Confrontando l'indice di Shannon prima e dopo l'introduzione, possiamo osservare eventuali effetti top-down sulle comunità bentoniche.

3. Monitoraggio del cambiamento ecologico: valutare l'indice di diversità in differenti periodi può indicare cambiamenti nell'ecosistema dovuti a vari fattori, inclusi interventi antropici o cambiamenti naturali, dovuti per esempio a forti alluvioni che possono sconvolgere le caratteristiche del corso d'acqua in poco tempo.

3.8 Analisi della comunità ittica

Per l'analisi della comunità di pesci di piccola taglia presenti nelle due rogge, si è utilizzato l'elettrostorditore per la cattura dei pesci. Successivamente, i dati raccolti sono stati confrontati con le carte ittiche regionali, che riportano campionamenti effettuati rispettivamente nel 2008 (Turrin & Locatelli, 2010) e nel 2019 (Busatto & Turrin, 2022). Per quantificare il confronto temporale tra le carte ittiche e i dati raccolti nei campionamenti di questo lavoro di tesi, per ogni specie è stato calcolato l'indice di abbondanza relativa Moyle (Moyle & Nichols, 1973). Questo indice semiquantitativo assume valori interi che vanno da 1 a 5, dove:

1 = 1-2 individui/50 m;

2 = 3-10 individui/50 m;

3 = 11-20 individui/50 m;

4 = 21-50 individui/50 m;

5 = >50 individui/50 m.

Inoltre, si è assegnato un indice per la struttura delle popolazioni di ciascuna specie campionata, al fine di caratterizzare la struttura di popolazione secondo il seguente schema (Turin et al., 1999):

1 = popolazione strutturata;

2 = popolazione non strutturata: assenza di adulti;

3 = popolazione non strutturata: assenza di giovani.

3.9 Analisi statistiche

Le analisi statistiche sono state effettuate mediante il software PAST4 (Paleontological Statistics Software Package), nella versione PAST4.17, ampiamente utilizzato, nella comunità scientifica, per l'analisi di dati ecologici, paleontologici e multivariati (Brinkgreve & Kumarswamy, 2008).

Le analisi si basano su due ipotesi principali: l'ipotesi nulla (H_0) afferma che non ci siano differenze significative nella composizione delle comunità tra i due siti, né nel tempo, mentre l'ipotesi alternativa (H_1) sostiene che le rogge presentano differenze significative e che tali differenze possano aumentare nel periodo successivo all'immissione delle trote fario. Per testare queste ipotesi, sono state utilizzate diverse tecniche statistiche, quali: l'analisi nMDS, clusterizzazione, PERMANOVA, PERMDISP e SIMPER, al fine di fornire un quadro completo e dettagliato della struttura ecologica delle comunità studiate. I risultati ottenuti non solo contribuiranno a verificare le ipotesi formulate, ma offriranno anche spunti per la gestione e la conservazione degli ecosistemi acquatici analizzati.

Per distinguere le varie repliche effettuate nei campionamenti di macroinvertebrati, ogni replica presenta un codice di 4 caratteri: le prime due lettere ne identificano la roggia di campionamento (US o CU), seguite da un numero che va da 1 a 5 perché sono state effettuate cinque repliche in ogni roggia, ed in fine vi è la lettera: A per identificare le repliche effettuate nel campionamento pre-immissione di trote (riportati in colore verde chiaro per il sito CU, o in azzurro per il sito US), oppure la lettera B per le repliche fatte post-immissione (riportati in colore verde scuro per il sito CU, o in blu scuro per il sito US).

Per il corretto svolgimento delle varie analisi statistiche i dati di abbondanza sono stati trasformati mediante la seguente formula del logaritmo naturale: $\ln(x+1)$. Questa trasformazione è necessaria per diverse ragioni:

- Riduzione dell'influenza dei taxa dominanti: nelle comunità ecologiche, è comune trovare taxa molto abbondanti che possono dominare le analisi, oscurando le differenze tra taxa meno abbondanti. La trasformazione logaritmica attenua l'influenza dei taxa abbondanti, rendendo più evidenti le variazioni relative in quelli meno abbondanti.
- Normalizzazione dei dati: questa trasformazione aiuta a normalizzare i dati, rendendo la distribuzione delle abbondanze meno asimmetrica, comprimendo le differenze tra i valori più grandi e rendendo i dati più normalizzati o simmetrici. Questo migliora la rappresentazione delle specie rare, che altrimenti avrebbero un peso molto ridotto rispetto alle specie abbondanti. Questo è utile perché la distanza di Bray-Curtis e altre metriche di dissimilarità possono essere sensibili a differenze nelle scale dei dati. Perciò la trasformazione logaritmica riduce l'impatto dei valori estremi, rendendo il calcolo della dissimilarità più bilanciato. In questo modo, l'importanza relativa delle specie rare e comuni viene riequilibrata, fornendo una visione più accurata delle differenze ecologiche tra i campioni (Clarke & Gorley, 2015).
- Stabilizzazione della varianza: la trasformazione $\ln(x+1)$ stabilizza la varianza, riducendo l'impatto delle grandi differenze di abbondanza tra campioni, migliorando la robustezza delle analisi statistiche.

In questa operazione si è preferita la conversione mediante logaritmo naturale (\ln) rispetto al logaritmo in base 10 (\log_{10}), in quanto si tratta di una trasformazione meno forte e comunemente usata in ecologia. Il \log_{10} è invece particolarmente utile quando si analizzano dati in cui gli ordini di grandezza sono importanti, come in studi economici o finanziari, ma è meno comune in ecologia (Clarke & Warwick, 2001).

Per quanto riguarda il calcolo delle similarità e dissimilarità tra i vari campioni, in tutte le analisi statistiche è stato impiegato il coefficiente di distanza di Bray-Curtis, che è comunemente utilizzato in ecologia per confrontare le composizioni di specie. La distanza di Bray-Curtis assume valori tra 0 e 1, dove: 0 indica che i due campioni sono identici in termini di composizione delle specie (stessa specie con la stessa abbondanza), e 1 indica che i due campioni non condividono alcuna specie (sono completamente dissimili). I vantaggi nell'impiego di questo coefficiente sono vari: questo coefficiente non cambia se si modificano le unità di misura delle abbondanze

(ad esempio, passando da numeri assoluti a percentuali); non è influenzato dall'assenza di specie nei campioni studiati; l'inclusione di un nuovo campione (campione C) non cambia il valore del coefficiente di Bray-Curtis calcolato tra due campioni originali (A e B). Questo significa che il coefficiente è "indipendente da campione" e non risente della presenza di ulteriori campioni nella stessa analisi. In fine se due campioni hanno le stesse abbondanze relative ma diverse abbondanze totali, la distanza di Bray-Curtis non sarà comunque influenzata. Questo perché il calcolo della dissimilarità Bray-Curtis si basa sulle differenze relative nelle abbondanze tra le specie, non sulle abbondanze totali assolute. Di conseguenza, campioni con composizioni relative identiche avranno una distanza di Bray-Curtis pari a zero, anche se differiscono nelle abbondanze totali (Clarke & Gorley, 2015; Clarke & Warwick, 2001).

3.9.1 nMDS

L'analisi statistica nMDS (Non-metric Multidimensional Scaling) è una tecnica multivariata utilizzata per visualizzare le somiglianze o dissimilarità tra campioni basati su dati complessi, come le abbondanze dei taxa di macroinvertebrati o di pesci in differenti siti. L'nMDS è particolarmente utile quando si lavora con dati ecologici, in cui è importante comprendere come la composizione delle comunità cambi in risposta a vari fattori, come nel caso dell'immissione di trote fario nella roggia Uselino. In particolare consente di visualizzare se l'immissione di trote fario nella roggia Uselino ha alterato significativamente le comunità di macroinvertebrati e di pesci rispetto alla situazione preesistente o rispetto alla roggia Cumana (che funge da controllo).

L'nMDS parte da una matrice di dissimilarità, che rappresenta le differenze tra i campioni (ad esempio, tra i siti CU e US o tra pre- e post-immissione) basate sull'abbondanza dei taxa di macroinvertebrati o di pesci. Queste dissimilarità sono calcolate utilizzando il coefficiente di Bray-Curtis.

L'obiettivo dell'impiego di quest'analisi è quello di rappresentare le relazioni tra i campioni in uno spazio a bassa dimensionalità (solitamente 2D o 3D) in modo tale che le distanze tra i punti nel diagramma risultante riflettano il più fedelmente possibile le dissimilarità originali tra i campioni. Il risultato di tale riduzione dimensionale è valutato tramite uno "stress value", che misura quanto bene la configurazione a bassa dimensionalità rappresenta le dissimilarità originali. Dove tipicamente i valori indicativi di stress value sono:

- < 0.05: Eccellente rappresentazione. Il modello bidimensionale rappresenta molto bene le distanze tra i campioni.
- 0.05 - 0.10: Buona rappresentazione. Lo stress è accettabile e l'nMDS fornisce una buona approssimazione.
- 0.10 - 0.20: Discreta rappresentazione. È considerato ancora accettabile, ma la rappresentazione delle distanze tra i campioni non è perfetta.
- > 0.20: Cattiva rappresentazione. Lo stress è troppo alto e la configurazione non è affidabile. In questo caso, i risultati potrebbero non essere interpretabili e potresti considerare l'uso di più dimensioni (Clarke & Gorley, 2006).

3.9.2 Clusterizzazione

La successiva clusterizzazione delle famiglie di macroinvertebrati e delle specie ittiche in base al livello di similarità (utilizzando la distanza di Bray-Curtis) è un passaggio utile per raggruppare i campioni in modo da identificare pattern e relazioni all'interno dei dati ecologici. Questa tecnica è completa all'analisi nMDS, fornendo una visione strutturata e quantitativa delle relazioni tra i campioni. Il risultato della clusterizzazione (tipologia utilizzata: classical clustering) è un dendrogramma che permette di visualizzare come i campioni (o gruppi di campioni) si raggruppano tra loro. I cluster sono formati da campioni che hanno un alto grado di similarità nelle comunità di macroinvertebrati o pesci. Perciò risulta particolarmente utile per identificare gruppi di campioni che condividono caratteristiche ecologiche simili (Clarke & Warwick, 2001). Se i cluster identificati corrispondono alle separazioni osservate nel diagramma nMDS, ciò rafforza l'interpretazione che quei gruppi di campioni sono effettivamente diversi in termini di composizione di taxa.

3.9.3 PERMANOVA

Per testare se le differenze evidenziabili nelle analisi nMDS e di clusterizzazione fossero effettivamente significative o meno, è stata applicata l'analisi statistica PERMANOVA, distinta tra two-way e pair-wise test.

La two-way PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance a due fattori) è un'analisi statistica particolarmente utile per testare simultaneamente l'effetto di più fattori sulle comunità ecologiche. In questo caso, viene utilizzata per valutare come le comunità di macroinvertebrati differiscano tra:

- Due siti: la roggia Cumana (CU) e la roggia Uselino (US);
- Due tempi: prima (pre-immissione) e dopo (post-immissione) l'introduzione delle trote fario nella roggia Uselino.

Questa analisi consente di esaminare sia gli effetti indipendenti dei fattori "sito" e "giorno", sia la loro interazione, cioè se l'effetto della data varia tra i siti. Questa analisi è importante perché, in ecologia, è raro che i fattori influenzino una comunità in modo isolato: fattori spaziali (come il sito) e temporali (come la data) spesso agiscono insieme e in modo complesso.

Questa analisi è stata effettuata solo sui dati dei macroinvertebrati, in quanto sono multivariati e compositi, con numerose famiglie che possono variare tra siti e nel tempo. La PERMANOVA è una delle poche tecniche statistiche che può trattare dati multivariati, non necessariamente distribuiti normalmente, e basati su distanze ecologicamente rilevanti come Bray-Curtis. L'analisi utilizza permutazioni (cioè rimescolamenti casuali dei dati) per costruire una distribuzione nulla delle statistiche di test. Questo significa che i dati vengono rimescolati molte volte (9999 permutazioni) e per ciascun rimescolamento si calcola una statistica che riflette la differenza tra i gruppi. Questo processo permette di stabilire se la differenza osservata è maggiore di quella che ci si aspetterebbe di ottenere per puro caso (Clarke & Gorley, 2006).

Poiché si vogliono analizzare simultaneamente l'effetto spaziale (tra siti) e quello temporale (tra date), oltre alla loro interazione, la two-way PERMANOVA è lo strumento ideale. Consente infatti di evitare di fare analisi separate per ciascun fattore (come nella one-way PERMANOVA) e di ottenere un quadro più completo (Clarke & Warwick, 2001).

Successivamente all'analisi two-way PERMANOVA, è stata applicata un'analisi post-hoc tramite il pair-wise PERMANOVA test (test a coppie). Questa procedura si concentra su un singolo fattore, il sito, confrontando direttamente le repliche dei campioni raccolti nelle due rogge, Cumana (CU) e Uselino (US), nelle due date di campionamento.

Il pair-wise test è una tecnica fondamentale per identificare specifiche differenze tra coppie di gruppi, quando l'analisi principale ha già evidenziato differenze significative complessive. In questo caso, il pair-wise test è stato preferito al main test di una one-way PERMANOVA, poiché quest'ultimo avrebbe semplicemente replicato i risultati già ottenuti dall'analisi two-way PERMANOVA. Il pair-wise test, invece, fornisce un'analisi più dettagliata, permettendo di esaminare direttamente le differenze tra le coppie di gruppi (CU-03/06 vs US-03/06 e CU-21/06 vs US-21/06). L'output del pair-wise PERMANOVA test include i *p-value* per ciascun confronto, che indicano la probabilità che le differenze osservate tra i due gruppi siano dovute al caso. Se il *p-value* per una specifica coppia è inferiore alla soglia di significatività (0,05), si può concludere che esiste una differenza statisticamente significativa tra quei due gruppi. Questo approccio consente di identificare con precisione quali coppie di gruppi sono ecologicamente differenti, fornendo informazioni cruciali sulle dinamiche spaziali e temporali delle comunità analizzate (Anderson et al., 2008; Clarke & Gorley, 2015).

3.9.4 PERMDISP

La Multivariate Dispersion o PERMDISP (Permutational Analysis of Multivariate Dispersion) è un'analisi utilizzata per valutare la dispersione o variabilità dei campioni di uno stesso gruppo. In pratica, verifica quanto i campioni si allontanano dal baricentro del gruppo in uno spazio che rappresenta più caratteristiche (multivariato), come la composizione di famiglie di macroinvertebrati in questo lavoro di tesi. Questa analisi rappresenta un passaggio importante dopo aver effettuato la two-ways PERMANOVA, in quanto quest'ultima verifica se ci sono differenze nella media delle distanze tra i gruppi, ma non può distinguere se queste differenze sono dovute a differenze nella composizione delle comunità (vero effetto biologico) o se sono il risultato di differenze nella dispersione interna ai gruppi. Perciò la PERMDISP risponde a questa domanda testando se i gruppi differiscono per quanto riguarda la loro dispersione interna attorno al centroide (centro medio) multivariato.

Il funzionamento di questa analisi è simile a quello della PERMANOVA, ovvero inizia dal calcolo della distanza di ogni campione dal centroide (tramite la distanza di Bray-Curtis), per poi confrontare la dispersione interna dei diversi gruppi utilizzando permutazioni per valutare la significatività della differenza di tale dispersione tra gruppi.

Il risultato di tale test è un *p-value* il quale permette di interpretare la dispersione dei campioni. Se si ottiene un *p-value* basso (qui scelto come < 0.05), ciò indica che i gruppi hanno dispersioni significativamente diverse. Ciò significa che le differenze osservate con la PERMANOVA potrebbero essere almeno in parte dovute a differenze nelle varianze, e non solo a differenze nella composizione media delle comunità. Tuttavia, la PERMDISP non serve esclusivamente per verificare l'assunto di varianze uguali come prerequisito per la validità della PERMANOVA. Una differenza significativa nella dispersione tra i gruppi può essere ecologicamente rilevante di per sé, indicando che un sito o un trattamento è caratterizzato da una maggiore eterogeneità ambientale o instabilità nella composizione delle comunità. Un *p-value* non significativo ($p > 0,05$) è comunque utile in quanto suggerisce che le differenze rilevate con la PERMANOVA sono probabilmente dovute a vere differenze biologiche tra le comunità piuttosto che a una differente dispersione. Tuttavia, anche quando le varianze sono diverse, queste possono riflettere cambiamenti ecologici importanti che meritano di essere analizzati ulteriormente (Clarke & Warwick, 2001).

3.9.5 SIMPER

L'analisi SIMPER (Similarity Percentage Analysis) è uno strumento statistico utilizzato per identificare quali taxa contribuiscono maggiormente alla similarità all'interno di un gruppo di campioni e alla dissimilarità tra gruppi diversi. Questa analisi è particolarmente utile per interpretare i risultati delle analisi multivariate come l'nMDS e la PERMANOVA, permettendo di andare oltre le differenze generali e capire specificatamente quali specie/famiglie stiano guidando queste differenze. In questo caso è stata valutata la dissimilarità.

SIMPER utilizza la matrice di dissimilarità, spesso calcolata con la distanza di Bray-Curtis, per confrontare campioni all'interno di un sito o tra siti diversi. Successivamente scompone le dissimilarità totali tra i campioni in contributi provenienti da ciascun taxon. Questo significa che per ogni coppia di campioni, SIMPER calcola quanto ciascuna specie/famiglia contribuisce alla dissimilarità totale. Alla fine quindi, i taxa vengono ordinati in base al loro contributo percentuale alla dissimilarità totale. Questo permette di identificare quali specie sono responsabili delle maggiori differenze tra i campioni (Clarke & Gorley, 2015; Clarke & Warwick, 2001).

4. RISULTATI

4.1 Caratterizzazione dei siti

I risultati delle analisi condotte sui macroinvertebrati bentonici hanno permesso di caratterizzare i siti di studio, Uselino (US) e Cumana (CU), evidenziando eventuali differenze intra-roggia. In particolare, è stato possibile osservare variazioni nella composizione e nell'abbondanza delle famiglie presenti nei due corsi d'acqua, con un focus sulle variazioni percentuali registrate tra il primo e il secondo campionamento. Questi dati offrono una panoramica delle dinamiche ecologiche instauratesi nei due siti, permettendo di valutare eventuali impatti derivanti dall'introduzione di *S. trutta* in Uselino e fornendo un quadro comparativo con la situazione relativamente stabile di Cumana.

4.1.1 Sito US

Nei campionamenti pre- e post- immissione di trote fario, effettuati in questa roggia, vi sono differenze sia quantitative che qualitative tra le famiglie di macroinvertebrati raccolte (Tabella 6). In particolare nel primo campionamento (03/06/2024) sono state catturate 13 famiglie, per un totale di poco meno di 2000 individui, contro le 14 famiglie e poco meno di 3800 individui del secondo (21/06/2024), ottenendo così un aumento del 90.80% di individui raccolti. Dal punto di vista qualitativo invece, il campionamento del 21 giugno si distingue da primo per la cattura di altri 4 taxa, quali: Bithyniidae, Caenidae, Dugesia e Hydracarina; mentre mancano 3 famiglie: Calopterygidae, Haemopidae e Pisidiidae, che erano state campionate prima dell'immissione di trote.

Per quanto riguarda la diversità e abbondanza dei diversi taxa, le famiglie più abbondanti in questa roggia sono tre (riportate di seguito in ordine alfabetico):

- 1) Baetidae: famiglia appartenente al gruppo degli efemerotteri comunemente noti come effimere, e sono tra i macroinvertebrati bentonici più diffusi nei corsi d'acqua. Le larve dei Baetidae hanno un corpo allungato e sottile, con due o tre cerci (filamenti caudali) all'estremità dell'addome e branchie laterali lungo i segmenti addominali. Sono generalmente adattati a vivere in acque correnti, dove si nutrono principalmente di detriti organici e alghe (Sansoni, 2005; Campaioli et al., 1999 & 2002). Il numero di individui raccolti tra primo e secondo campionamento è passato da 90 a 374, ovvero un aumento del 315.50% (cambiamento percentuale);
- 2) Gammaridae: famiglia di crostacei anfipodi bentonici, comuni nei corsi d'acqua dolce. Questi organismi hanno un corpo allungato e lateralmente compresso, suddiviso in segmenti, con un carapace che copre parzialmente la testa. Possiedono sette paia di zampe, di cui le prime due sono solitamente più robuste e dotate di chele. Gli occhi sono composti e situati lateralmente sulla testa. I Gammaridae svolgono un ruolo importante come detritivori, contribuendo al ciclo dei nutrienti negli ecosistemi acquatici (Sansoni, 2005; Campaioli et al., 1999 & 2002). In tal caso il numero di individui

catturati risulta elevato in entrambi i campionamenti, però è diminuito del 12.50%, passando da 1570 a 1374 esemplari;

- 3) Simuliidae: noti anche come moscerini neri, sono una famiglia di insetti ditteri bentonici. Le loro larve vivono ancorate ai substrati di fiumi e torrenti a corrente veloce. Il corpo delle larve è cilindrico, con la parte posteriore del corpo dilatata, e una coppia di ventose addominali che le aiutano a rimanere attaccate alle superfici. Le larve sono importanti filtratori di particelle organiche presenti nell'acqua, grazie ad apposite setole boccali (Sansoni, 2005; Campaioli et al., 1999 & 2002). Il numero di simulidi raccolti nei due campionamenti è aumentato molto, passando da 109 a 1710 individui, facendo registrare un aumento percentuale del 1468.80%. Infatti, questa famiglia rappresenta quasi la metà del totale di macroinvertebrati raccolti nel campionamento post-immissione nella roggia Uselino.

FAMIGLIA	US 03/06	US 21/06	Camb.%
Asellidae	3	4	33,30%
Baetidae	90	374	315,50%
Bithyniidae	0	1	
Caenidae	0	5	
Calopterygidae	1	0	
Chironomidae	45	7	-84,40%
Dugesia	0	3	
Elmidae	20	18	-10%
Ephemerellidae	85	245	188,20%
Gammaridae	1570	1374	-12,50%
Goeridae	9	6	-33,30%
Haemopidae	1	0	
Hydracarina	0	6	
Hydropsychidae	34	34	0%
Lumbricidae	9	4	-55,50%
Pisidiidae	11	0	
Simuliidae	109	1710	1468,80%
TOT	1987	3791	90,80%

Tabella 6: Famiglie di macroinvertebrati e relative abbondanze raccolte nella roggia Uselino (US) durante i due campionamenti: US 03/06 (pre-immissione) e US 21/06 (post-immissione). Le famiglie evidenziate in rosso sono presenti solo nel primo campionamento (03/06), mentre quelle in giallo solo nel secondo (21/06). La colonna “Camb.%" riporta i cambiamenti percentuali per ogni famiglia; il cambiamento percentuale non è stato riportato per i taxa non catturati in uno dei due campionamenti. Un valore positivo (senza segno) indica un incremento nell’abbondanza del taxon, mentre un valore negativo indica un decremento.

4.1.2 Sito CU

La roggia Cumana si distingue dalla Uselino in primis per un maggior numero di famiglie raccolte. Infatti, in entrambi i campionamenti sono state catturate 18 famiglie di macroinvertebrati, ma con delle differenze qualitative tra queste. In

particolare entrambi i campionamenti si distinguono per 6 diverse famiglie (Tabella 7). Il campionamento pre-immissione presenta: Asellidae, Calopterygidae, Planorbidae, Sphaeridae, Unionidae e Valvatidae, assenti nel secondo campionamento. Mentre al contrario, nel campionamento post-immissione, sono presenti: Ceratopogonidae, Dugesia, Limoniidae, Pisidiidae, Tabanidae, e Tubificidae.

Un'ulteriore differenza tra le due rogge è il fatto che nonostante nella Cumana siano state trovate un maggior numero di famiglie, il numero di individui catturati risulta essere di molto inferiore, e soprattutto, questo non è aumentato nell'arco delle due settimane tra un campionamento e l'altro, ma è diminuito. Nel primo campionamento sono stati raccolti circa 1250 individui, mentre nel secondo 800, perciò c'è stata una diminuzione del 36.70%.

Nel sito CU, le famiglie più abbondanti sono quattro (riportate di seguito in ordine alfabetico), comprese le tre già descritte nel sito US:

- 1) Bithyniidae: famiglia di piccoli molluschi gasteropodi d'acqua dolce. Questi organismi bentonici hanno una conchiglia solida, di forma ovale o conica, con spire ben definite e un'apertura ovale protetta da un opercolo. Il loro corpo è dotato di un piede muscoloso che utilizzano per il movimento sul fondo dei corsi d'acqua, alla ricerca di alghe e detriti organici (Sansoni, 2005; Campaioli et al., 1999 & 2002). Questi molluschi rappresentano più di 1/3 del totale di macroinvertebrati raccolti in questa roggia, infatti ne sono stati catturati 483 nel primo campionamento, e 275 nel secondo, con una diminuzione del 43.10%;
- 2) Baetidae: in tal caso è una delle poche famiglie ad aver subito un aumento nel numero di individui, pari al 340.90%, passando da 22 a 97 esemplari;
- 3) Gammaridae: assieme alla famiglia Bithyniidae nel primo campionamento rappresentavano circa l'80% del totale dei macroinvertebrati presenti, e come la famiglia di molluschi ha subito una diminuzione del 62.10%, passando da 515 a 195 individui;
- 4) Simuliidae: anche questa famiglia ha registrato un aumento notevole come i Baetidae, passando da 12 a 70 esemplari, pari ad un aumento percentuale del 483.30%.

FAMIGLIA	CU 03/06	CU 21/06	Camb.%
Asellidae	1	0	
Baetidae	22	97	340,90%
Bithyniidae	483	275	-43,10%
Caenidae	1	1	0%
Calopterygidae	3	0	
Ceratopogonidae	0	3	
Chironomidae	8	17	112,50%
Dugesia	0	1	
Elmidae	123	78	-36,60%
Ephemerellidae	27	5	-81,50%
Ephemeridae	1	1	0%
Gammaridae	515	195	-62,10%
Goeridae	32	24	-25%
Hydracarina	2	10	400%
Hydropsychidae	22	19	-13,60%
Limoniidae	0	1	
Pisidiidae	0	2	
Planorbidae	1	0	
Simuliidae	12	70	483,30%
Sphaeriidae	5	0	
Tabanidae	0	1	
Tubificidae	0	1	
Unionidae	3	0	
Valvatidae	5	0	
TOT	1266	801	-36,70%

Tabella 7: Famiglie di macroinvertebrati e relative abbondanze raccolte nella roggia Cumana (CU) durante i due campionamenti: CU 03/06 (pre-immissione) e CU 21/06 (post-immissione). Le famiglie evidenziate in rosso sono presenti solo nel primo campionamento (03/06), mentre quelle in giallo solo nel secondo (21/06). La colonna “Camb.%" riporta i cambiamenti percentuali per ogni famiglia; il cambiamento percentuale non è stato riportato per i taxa non catturati in uno dei due campionamenti. Un valore positivo (senza segno) indica un incremento nell’abbondanza del taxon, mentre un valore negativo indica un decremento.

4.2 Confronto tra siti

Il confronto tra i siti di campionamento Cumana (CU) e Uselino (US) è essenziale per comprendere le dinamiche ecologiche delle rogge e valutare l'impatto delle condizioni ambientali sulla biodiversità. Inizialmente, si analizzano i parametri chimico-fisici delle acque dei due siti per determinare la loro similarità. Successivamente, si confrontano le comunità di macroinvertebrati e pesci di piccola taglia, osservando le eventuali differenze che possono emergere. Questo confronto fornisce una visione complessiva della qualità ecologica dei due ambienti acquatici e delle relazioni trofiche presenti.

4.2.1 Parametri ambientali

I dati dei parametri chimico-fisici delle due rogge sono stati raccolti il 21/06/2024¹² alle ore 11:50 circa:

	CU	US
pH	8,4	8,4
Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	675	450
T ($^{\circ}\text{C}$)	18,7	17,0
DO (mg/l)	10,5	8,9
DO %	112,5	95,0

Temperatura, pH e ossigeno disciolto sono parametri su cui porre particolare attenzione in quanto influenzano direttamente la distribuzione e l'attività biologica degli organismi acquatici. In tal caso non sono presenti differenze evidenti nei parametri chimico-fisici più rilevanti, le quali potrebbero mascherare o amplificare gli effetti delle trote fario sulle comunità di macroinvertebrati e pesci di piccola taglia. Tra questi, l'ossigeno disciolto (DO) presenta una differenza più spiccata, e in particolare risulta essere più basso nella roggia Uselino, probabilmente a causa dell'acqua più fredda, ma si tratta comunque di buoni valori di ossigenazione in entrambi i siti.

I valori che presentano la più alta differenza sono quelli della conducibilità, la quale risulta essere fortemente influenzata dagli scarichi antropici, dove in tale zona si tratta prevalentemente di scarichi derivanti dai campi coltivati, come fertilizzanti, i quali aumentano il livello di sali disciolti in acqua, e di conseguenza aumenta anche la conducibilità. Oppure un'altra possibile differenza potrebbe essere legata al fatto che le portate originarie della roggia Uselino, durante il periodo primaverile estivo, sono integrate da acqua proveniente dal Brenta, per soddisfare la domanda di acqua per l'irrigazione delle coltivazioni, comportando un abbassamento della concentrazione di sali disciolti nell'acqua di tale roggia (Turrin & Locatelli, 2010). Le differenze evidenziate non sembrano comunque particolarmente importanti dal punto di vista ecologico.

4.2.2 Specie ittiche

Dai dati raccolti tramite le operazioni di pesca non selettiva con l'elettrostorditore (Appendice 7 dati sulle specie ittiche e Appendice 8 fotografie rappresentative delle specie catturate) con dati sulle specie catturate e foto rappresentative), è possibile fare delle distinzioni tra le specie ittiche catturate nelle due rogge.

In primis, risulta evidente che il sito CU risulta molto più ricco di specie rispetto al sito US, nel quale sono state catturate solo due specie: Cavedano (*Squalius cephalus*, Linnaeus, 1758) e Ghiozzo padano (*Padogobius bonelli* (Bonaparte, 1846)). Oltre a queste due specie, nella roggia Cumana sono state pescate altre 7 specie: Triotto (*Leucos aula* (Bonaparte, 1841)), Alborella (*Alburnus arborella* (Bonaparte, 1841)), Rodeo Amaro (*Rhodeus amarus* Bloch, 1782), Trota fario (*S. trutta*), Lampreda padana (*Lethenteron zanandreae* (Vladykov, 1955)) e Barbo

¹² Questi dati sono stati raccolti in una sola replica, perciò va tenuto in considerazione il fatto che potrebbero non essere totalmente rappresentativi per i due ambienti.

(*Barbus plebejus* Bonaparte, 1839), oltre al il crostaceo decapode alloctono Gambero rosso della Louisiana (*Procambarus clarkii* (Girard, 1852)). In particolare tra queste, vi sono 5 specie di pesci piccola taglia (Ghiozzo padano, alborella, rodeo amaro, triotto, e lampreda) che sono prede abituali della trota fario. Oltretutto, i due siti differiscono non solo per il numero di specie, ma anche per la loro abbondanza. Infatti, sia il numero di ghiozzi che di cavedani catturati nel sito US, è inferiore rispetto al numero di individui pescati nel sito CU, ed inoltre le taglie degli esemplari di cavedano catturati nella roggia Uselino sono maggiori di quelli della Cumana (Grafici da 1 a 5; Appendice 7).

Per una rappresentazione visiva più chiara e immediata, vengono presentati di seguito i grafici riportanti le lunghezze di tutti i pesci catturati nelle rogge Cumana e Uselino. Per questa analisi, nel caso della roggia Cumana, non sono stati considerati i dati di lunghezza dei tre esemplari di *P. clarkii*, in quanto la lunghezza di questo crostaceo non può essere paragonata a quella dei pesci. Nella pratica un pesce che presenta la stessa lunghezza di un gambero della Louisiana risulterebbe più vulnerabile alla predazione da parte della trota fario, in primis perché il gambero risulta essere “corazzato” dal suo carapace, e in più è capace di rendersi offensivo sul predatore con l’ausilio delle chele.

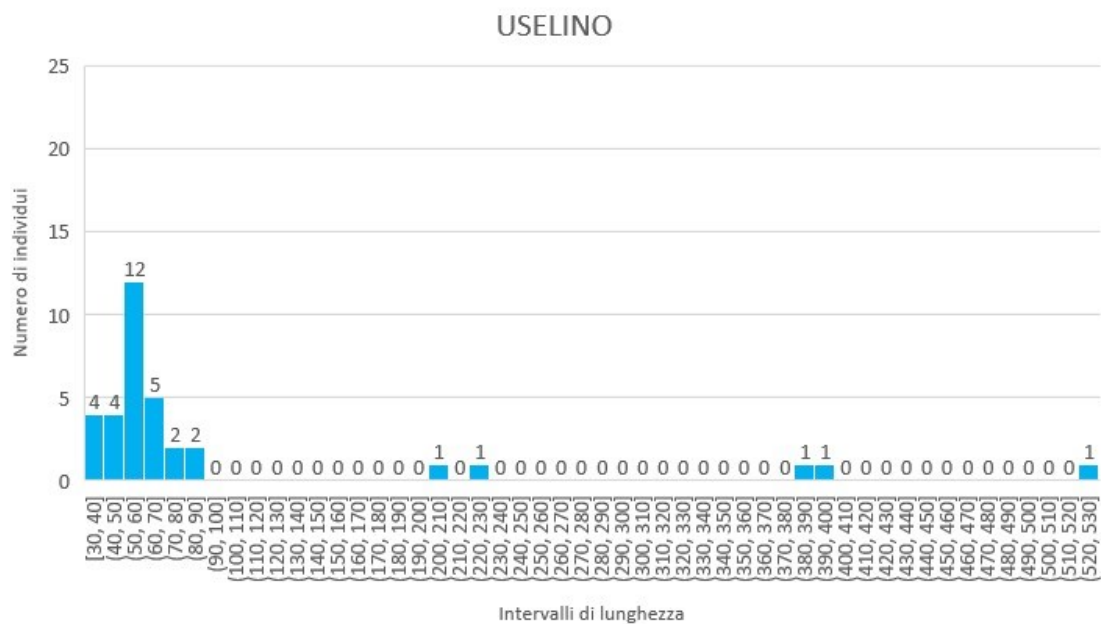


Grafico 1: Istogramma ad intervalli di lunghezza dei pesci del sito US. Sull’asse x sono riportati i diversi intervalli di lunghezza pari a 10 mm ognuno, in ordine crescente. L’asse y rappresenta il numero di individui per un determinato intervallo.

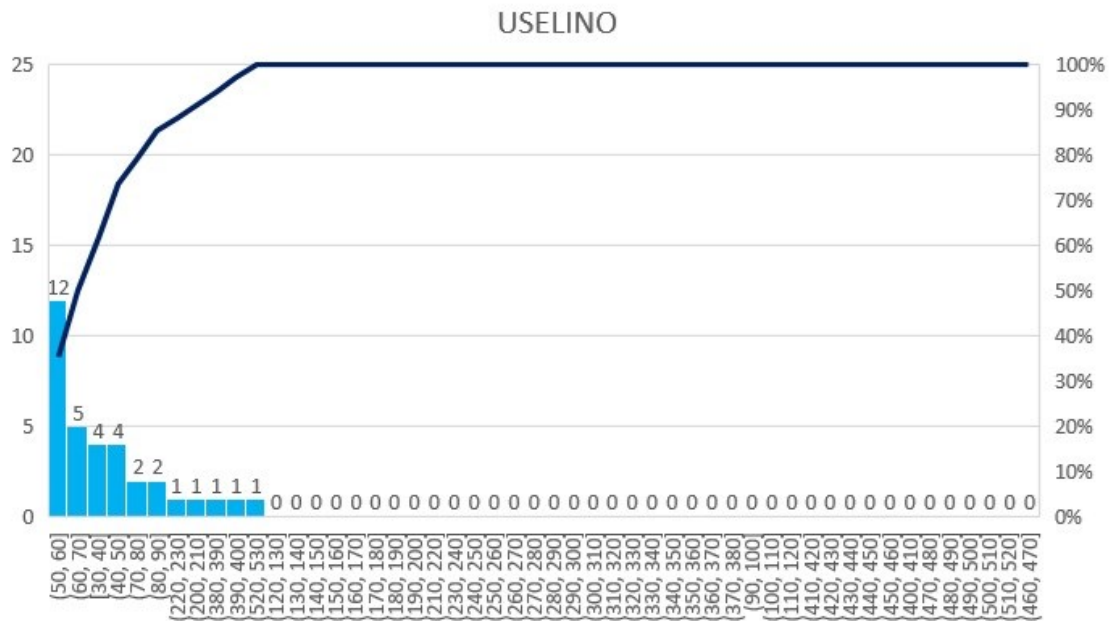


Grafico 2: Grafico di Pareto ad intervalli di lunghezza dei pesci del sito US. Sull'asse x sono distribuiti i dati in ordine decrescente di frequenza per ogni intervallo di lunghezza pari a 10 mm ognuno. L'asse y rappresenta il numero di individui per un determinato intervallo. La linea di colore blu scuro rappresenta la linea cumulativa su un asse secondario come percentuale del totale.

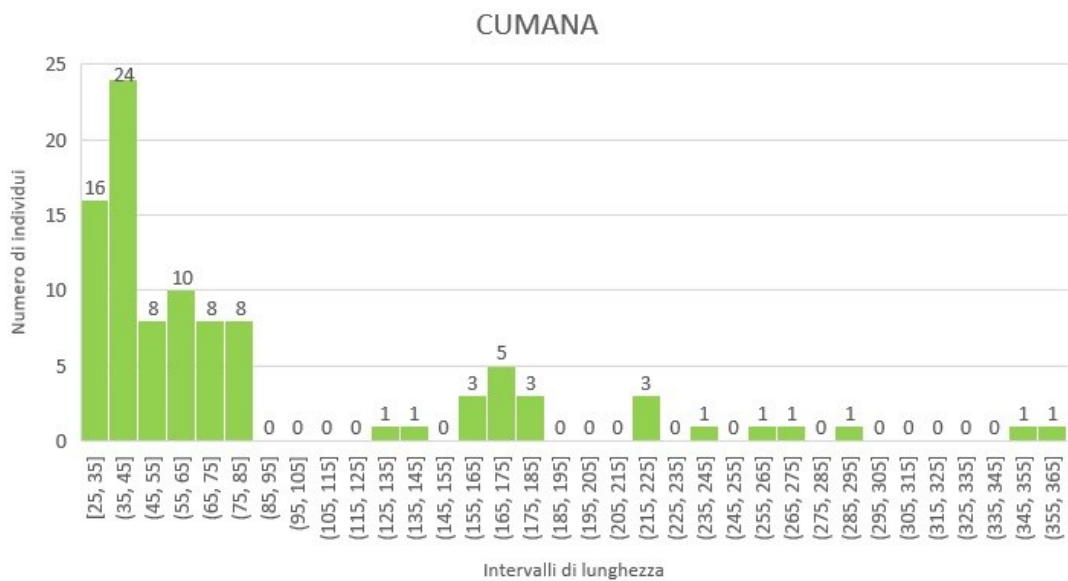


Grafico 3: Istogramma ad intervalli di lunghezza dei pesci del sito CU. Sull'asse x sono riportati i diversi intervalli di lunghezza pari a 10 mm ognuno, in ordine crescente. L'asse y rappresenta il numero di individui per un determinato intervallo.

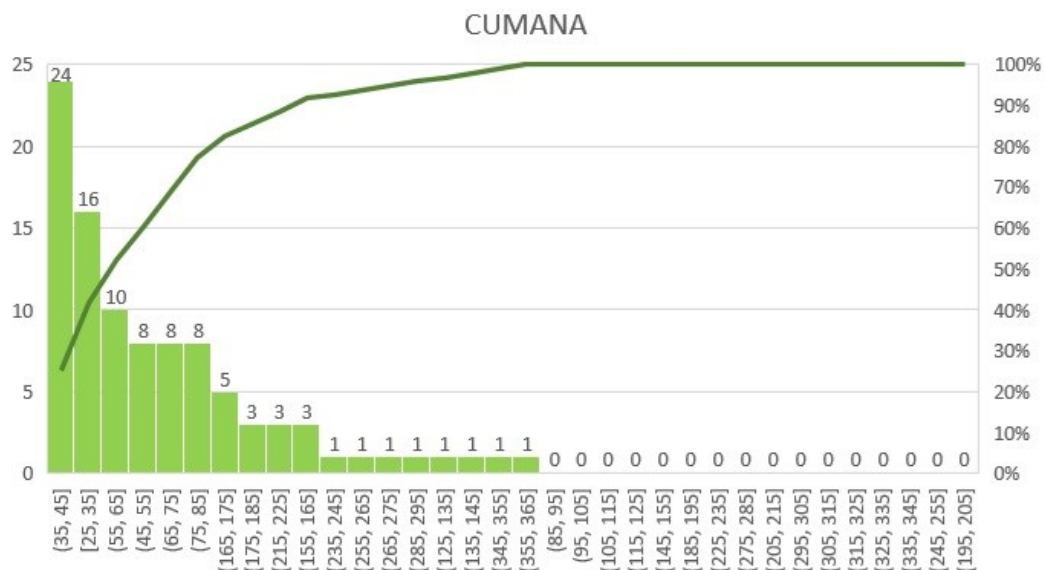


Grafico 4: Grafico di Pareto ad intervalli di lunghezza dei pesci del sito CU. Sull'asse x sono distribuiti i dati in ordine decrescente di frequenza per ogni intervallo di lunghezza pari a 10 mm ognuno. L'asse y rappresenta il numero di individui per un determinato intervallo. La linea di colore verde scuro rappresenta la linea cumulativa su un asse secondario come percentuale del totale.

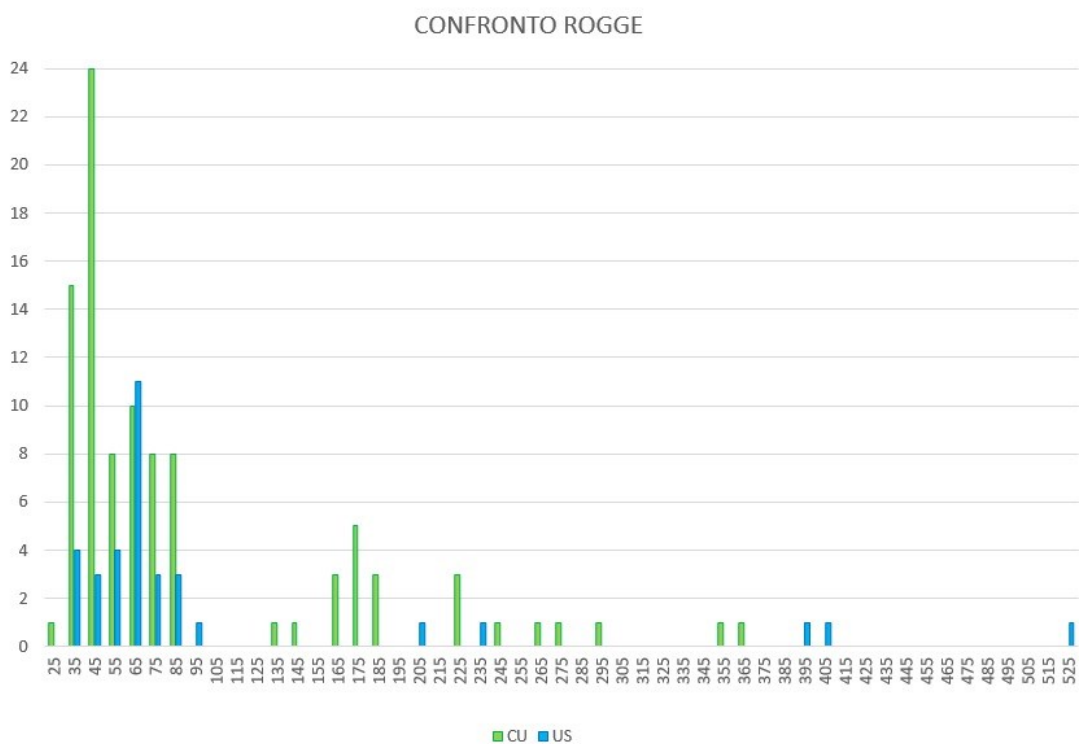


Grafico 5: Istogramma "Confronto rogge" riportante la distribuzione delle lunghezze di tutti i pesci catturati in entrambe le rogge (Uselino e Cumana). Sull'asse x sono riportati i diversi intervalli di lunghezza pari a 10 mm ognuno, in ordine crescente. L'asse y rappresenta il numero di individui per un determinato intervallo. In ogni intervallo di lunghezza possono essere presenti due colonne: di colore verde per i pesci catturati nel sito CU, e di colore azzurro per quelli catturati nel sito US. Questo istogramma mette assieme i grafici 1 e 3 delle singole rogge, così da poterli confrontare al meglio.

I grafici soprastanti ci aiutano a rappresentare il fatto che nella roggia sperimentale Uselino sono presenti meno pesci, e meno pesci di piccola taglia, rispetto alla roggia Cumana, dove questi invece sono abbondanti.

4.2.3 Indice STAR_ICMi

La tabella seguente (Tabella 8) riassume i valori dell'indice STAR_ICMi ottenuti per le due rogge a distanza di due settimane, riportando anche il numero totale di famiglie trovate in ogni sito e lo stato ecologico corrispondente al valore dell'indice.

Sito	N. Famiglie	Indice STAR_ICMi	Stato Ecologico
CU (03/06/2024)	18	0.848	BUONO
US (03/06/2024)	13	0.723	BUONO
CU (21/06/2024)	18	0.855	BUONO
US (21/06/2024)	14	0.675	SUFFICIENTE

Tabella 8: Indici STAR_ICMi dei due siti, con il corrispondente giudizio di qualità ecologica e il numero di taxa (famiglie) di macroinvertebrati. I colori rappresentativi delle diverse classi ecologiche sono riportati nella Tabella 5 esplicativa, nel capitolo "Analisi dei campioni e calcolo dell'indice STAR_ICMi" su Materiali e Metodi

Dai risultati ottenuti si nota che tre campionamenti su quattro riportano un giudizio di buona qualità, mentre solo uno risulta sufficiente. Nel caso della roggia Cumana, che funge da controllo, l'indice risulta essere aumentato di poco nell'arco di due settimane, dovuto al fatto che nonostante siano cambiate alcune famiglie di macroinvertebrati, il numero totale è rimasto invariato, come si può osservare dai dati riportati in Appendice 6. La consistenza dei risultati tra le due date indica una stabilità ecologica nel tempo per questo sito.

Situazione differente invece la si osserva nel sito US, ovvero la roggia sperimentale, dove si registra un abbassamento del valore dell'indice STAR_ICMi, comportando il passaggio dalla classe di stato ecologico "buono" a quella "sufficiente", nonostante il numero di famiglie di macroinvertebrati sia aumentato.

4.2.4 Indice di Shannon

I valori dell'indice di Shannon ottenuti per i dati dei macroinvertebrati bentonici raccolti nelle due rogge, Uselino (US) e Cumana (CU), nelle date 03/06/2024 e 21/06/2024 sono i seguenti:

- CU (03/06/2024) = 1.45719;
- US (03/06/2024) = 0.91715;
- CU (21/06/2024) = 1.85449;
- US (21/06/2024) = 1.26323.

In tutti i casi i valori sono inferiori al 3, e vicini ad 1. Analizzando e confrontando i dati ottenuti nelle due rogge a distanza di due settimane si evince che in entrambe le date, la roggia Cumana (CU) presenta valori dell'indice di Shannon più alti rispetto alla roggia Uselino (US), suggerendo una maggiore diversità biologica.

Entrambe le rogge mostrano un aumento dell'indice di Shannon dal 3 giugno 2024 al 21 giugno 2024. Questo incremento potrebbe essere attribuito a condizioni stagionali favorevoli che hanno portato ad un miglioramento della biodiversità, come la disponibilità di risorse, e il fatto che il primo campionamento (03/06/2024) sia stato effettuato dopo un periodo di piogge frequenti, nonostante ci fossimo premurati di attendere alcuni giorni perché le condizioni delle rogge ritornassero a essere ottimali per lo svolgimento di tale lavoro. Questo risultato è particolarmente interessante dal punto di vista delle relazioni ecologiche tra *S. trutta* e i macroinvertebrati in quanto, al contrario, dopo l'immissione delle trote ci si sarebbe aspettato un decremento della diversità, ma non è così.

4.3 Analisi statistiche del confronto (macroinvertebrati bentonici)

In questo e nella seguente sezione (4.4) vengono presentati i risultati delle analisi statistiche condotte per valutare le differenze nella composizione delle comunità di macroinvertebrati e pesci tra le rogge Cumana e Uselino, sia in termini di variabilità spaziale che temporale.

4.3.1 nMDS

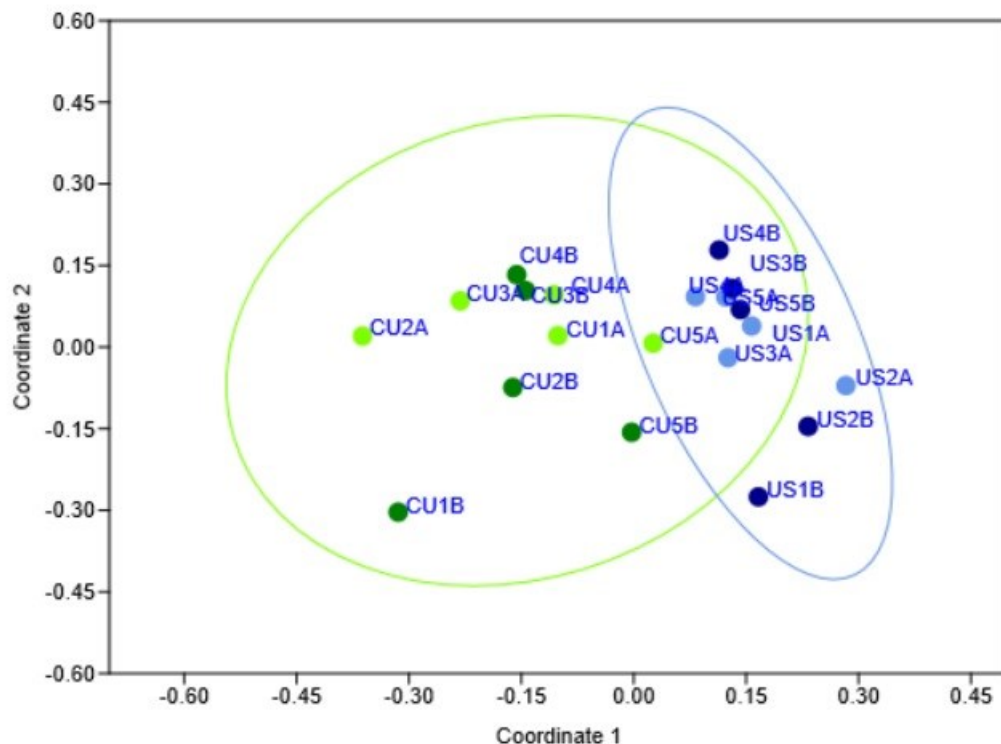


Figura 8: Output grafico dell'analisi nMDS sui dati dei macroinvertebrati raccolti nei due siti, in due date di campionamento differenti, distinte da due diverse tonalità dello stesso colore: verde per il sito CU, e blu per il sito US. La tonalità più chiara indica le repliche effettuate il giorno 03/06/2024, mentre quella più scura le repliche post-immissione del 21/06/2024.

Dall'analisi nMDS (Non-metric Multidimensional Scaling) si ottiene anche uno stress value, il quale indica la discrepanza tra le distanze reali tra i campioni e le

distanze rappresentate nella proiezione a bassa dimensione. In questo caso lo stress value è pari a 0.1214, indicando una discreta rappresentazione. È considerato ancora accettabile, ma la rappresentazione delle distanze tra i campioni non è perfetta (Clarke & Gorley, 2015; Clarke & Warwick, 2001).

Dal grafico si può osservare quindi una buona separazione tra le repliche fatte nella roggia Cumana (CU) e quelle della roggia Uselino (US). L'output riporta anche l'ellissi al 95%, la quale rappresenta l'area in cui si trova il 95% delle repliche di una roggia. Queste sono utili per visualizzare la variabilità interna di un gruppo e dare un'indicazione di dove si concentrano la maggior parte dei punti appartenenti allo stesso sito. In questo caso l'ellisse della roggia Uselino risulta essere più compatta e di piccole dimensioni rispetto a quella della Cumana, ciò significa che i campioni all'interno di quel gruppo sono più simili tra loro.

In tal caso le ellissi al 95% delle due rogge si intersecano, rappresentando il fatto che esiste una sovrapposizione nella variabilità delle due rogge (CU e US), perciò i campioni di una roggia non sono completamente distinti dai campioni dell'altra roggia. Infatti, dai dati precedentemente analizzati sappiamo esserci alcune famiglie di macroinvertebrati preseti in entrambi i siti.

4.3.2 Clusterizzazione

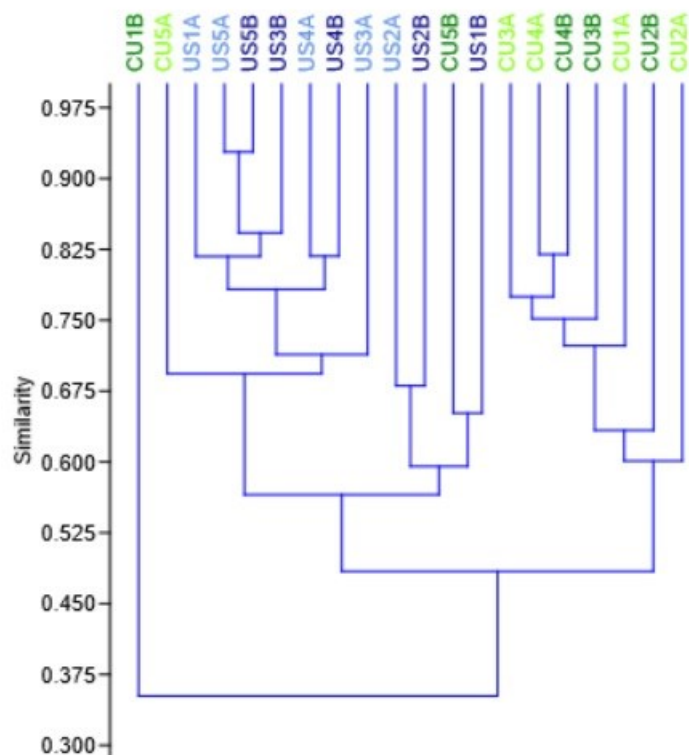


Figura 9: Dendrogramma riportante la divisione in gruppi/cluster delle repliche di macroinvertebrati in base al livello di similarità.

La clusterizzazione delle famiglie di macroinvertebrati in base al livello di similarità, ci consente di ottenere un risultato complementare a quello ottenuto dall'analisi nMDS. L'output ottenuto è un dendrogramma, che rappresenta le

relazioni gerarchiche tra i campioni. In particolare si osserva una situazione simile a quella dell'nMDS, dove la maggior parte delle repliche di ogni roggia sono vicine e quindi simili tra loro, tranne alcuni casi dove le repliche delle due rogge tendono ad intersecarsi. Come il caso della replica CU1B, che risulta essere la più distaccata e diversa dalle altre repliche del sito CU (in colore verde).

4.3.3 PERMANOVA

Come definito nella sezione 3.7 “Analisi Statistiche”, le analisi effettuate con la tecnica PERMANOVA, sono state distinte tra two-ways e pair-wise test.

Two-way PERMANOVA					
Permutation <i>M</i> : 9999					
Source	Sum of sqrs	df	Mean square	<i>F</i>	<i>p</i>
SITO	0,832409	1	0,83241	11,44	0,0001
GIORNO	0,0741618	1	0,074162	1,0192	0,3793
Interaction	0,0771606	1	0,077161	1,0605	0,3498
Residual	1,16418	16	0,072761		
Total	2,1479	19			

Figura 10: Output dell'analisi two-ways PERMANOVA sui dati dei macroinvertebrati.

Dai risultati ottenuti, si osserva che le differenze tra le comunità di macroinvertebrati nelle due rogge, Cumana (CU) e Uselino (US), sono statisticamente significative, come indicato dal *p-value* associato al fattore "SITO", inferiore a 0.05. Questo suggerisce che le composizioni delle comunità nei due corsi d'acqua differiscono in modo rilevante dal punto di vista ecologico. Al contrario, il fattore "GIORNO", che confronta i campioni pre- e post-immissione di trote fario, non risulta essere statisticamente significativo, indicando che non sono state rilevate differenze significative nelle comunità tra i due momenti temporali. Inoltre, anche l'interazione tra sito e data (“Interaction”) non risulta significativa (*p-value* > 0.05), il che implica che il cambiamento temporale non è diverso tra i due siti, ovvero l'effetto della data non varia in modo significativo tra la roggia Cumana e la roggia Uselino. Questi risultati suggeriscono che la variabilità osservata nelle comunità di macroinvertebrati è principalmente dovuta alle differenze tra i siti piuttosto che alle variazioni temporali o all'interazione tra i due fattori.

	CU-03/06	US-03/06	CU-21/06	US-21/06
CU-03/06		0,0071	0,2706	0,0091
US-03/06	0,0071		0,0089	0,4796
CU-21/06	0,2706	0,0089		0,0067
US-21/06	0,0091	0,4796	0,0067	

Figura 12: Confronto pair-wise PERMANOVA test sui dati dei macroinvertebrati.

L'analisi pair-wise PERMANOVA (test a coppie) è stata utilizzata per individuare in modo dettagliato le differenze tra i gruppi di campioni, confrontando

direttamente le varie combinazioni di campionamenti tra le due rogge. I gruppi considerati includono le cinque repliche raccolte il giorno 03/06/2024 nella roggia Cumana (CU-03/06) e nella roggia Uselino (US-03/06), oltre alle cinque repliche effettuate il giorno 21/06/2024 negli stessi siti (CU-21/06 e US-21/06).

In particolare, i risultati mostrano che le differenze statisticamente significative più rilevanti si osservano tra i campionamenti effettuati negli stessi giorni nelle due rogge. Il confronto tra CU-03/06 e US-03/06 restituisce un *p-value* di 0.0071, mentre il confronto tra CU-21/06 e US-21/06 produce un *p-value* di 0.0067. Entrambi i *p-values* indicano una differenza significativa tra le comunità macroinvertebrate nei due siti per le stesse date di campionamento. Questi risultati confermano ulteriormente che le comunità di macroinvertebrati differiscono significativamente tra le rogge Cumana e Uselino, indipendentemente dal momento in cui i campionamenti sono stati effettuati, suggerendo che le differenze tra i due siti sono consistenti nel tempo.

4.3.4 PERMDISP

Test for equal multivariate dispersions

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between groups:	0,00785687	1	0,00785687	1,158	0,3008
Within groups:	0,122165	18	0,00678693		
Total:	0,130022	19			

Figura 13: Output dell'analisi PERMDISP sui dati dei macroinvertebrati.

Il risultato di questa analisi ha restituito un *p-value* di 0.3008 per il confronto "between groups" (ovvero tra i siti US e CU), indicando che non vi sono differenze statisticamente significative nella dispersione delle comunità di macroinvertebrati tra i gruppi analizzati. In altre parole, i campioni all'interno dei diversi gruppi (in questo caso, i siti di campionamento US e CU) mostrano una variabilità simile rispetto al "centro medio" di ciascun gruppo. Un *p-value* superiore a 0.05 suggerisce che le differenze osservate nella dispersione non sono sufficienti a indicare una distinzione di variabilità rilevante tra i gruppi. Pertanto, si può concludere che la variabilità delle comunità di macroinvertebrati nei diversi siti non differisce in modo significativo. Questo risultato potrebbe implicare che, sebbene ci siano differenze nella composizione delle comunità (come evidenziato dalle analisi precedenti), le comunità stesse presentano un grado di dispersione simile, suggerendo che le condizioni ecologiche all'interno di ciascun gruppo sono relativamente omogenee in modo analogo.

4.3.5 SIMPER

Per approfondire e interpretare più nel dettaglio i risultati delle analisi multivariate di nMDS e PERMANOVA, è stata applicata l'analisi SIMPER (Similarity Percentage Analysis). Questa analisi permette di individuare quali taxa

contribuiscono maggiormente alla dissimilarità tra gruppi di campioni (Clarke & Gorley, 2015; Clarke & Warwick, 2001). Dato che i risultati della two-way PERMANOVA hanno evidenziato differenze significative solo tra i siti di campionamento, e non per il fattore tempo, l'analisi SIMPER è stata condotta concentrandosi esclusivamente sul confronto tra i due siti di studio, la roggia Cumana (CU) e la roggia Uselino (US). In tal modo, l'analisi consente di identificare quali taxa di macroinvertebrati sono responsabili delle maggiori differenze tra i due corsi d'acqua. Questa procedura fornisce informazioni dettagliate sui contributi percentuali di ciascun taxon alla dissimilarità complessiva, offrendo una chiave di lettura per comprendere le dinamiche ecologiche e le differenze tra i siti studiati.

Taxon	Av. dissim	Contrib. %	Cumulative %	Mean CU	Mean US
Bithyniidae	10,18	19,31	19,31	4,07	0,0693
Simuliidae	5,592	10,61	29,92	0,751	2,24
Baetidae	5,387	10,22	40,14	1,42	3,14
Ephemerelellidae	4,864	9,226	49,36	0,994	2,84
Gammaridae	4,678	8,873	58,24	3,74	5,44
Elmidae	3,928	7,451	65,69	2,59	1,32
Hydropsychidae	2,913	5,526	71,21	1,26	1,73
Goeridae	2,545	4,827	76,04	1,21	0,734
Chironomidae	2,39	4,533	80,57	1,04	1,2
Lumbricidae	1,765	3,347	83,92	0	0,676
Hydracarina	1,569	2,976	86,89	0,512	0,318
Pisidiidae	0,9701	1,84	88,73	0,11	0,34
Valvatidae	0,7963	1,511	90,25	0,318	0
Asellidae	0,725	1,375	91,62	0,0693	0,3
Caenidae	0,6641	1,26	92,88	0,139	0,179
Dugesia	0,5257	0,9972	93,88	0,0693	0,179
Sphaeriidae	0,5211	0,9884	94,87	0,179	0
Unionidae	0,4975	0,9438	95,81	0,208	0
Ceratopogonida	0,488	0,9257	96,74	0,179	0
Calopterygidae	0,4269	0,8098	97,54	0,139	0,0693
Ephemeridae	0,4013	0,7612	98,31	0,139	0
Tabanidae	0,1999	0,3792	98,69	0,0693	0
Tubificidae	0,1997	0,3788	99,06	0,0693	0
Limoniidae	0,1826	0,3463	99,41	0,0693	0
Planorbidae	0,1604	0,3043	99,71	0,0693	0
Haemopidae	0,1504	0,2853	100	0	0,0693

Tabella 9: Output dell'analisi SIMPER sui dati dei macroinvertebrati, mettendo a confronto i due siti US e CU senza distinzione di data, ma considerando tutti i dati assieme.

La prima analisi SIMPER è stata condotta per identificare i taxa che contribuiscono maggiormente alla dissimilarità tra i campioni raccolti nei due siti, Uselino (US) e Cumana (CU), senza distinzione temporale tra le due date di campionamento. L'output dell'analisi evidenzia i taxa che spiegano la maggior parte delle differenze tra i campioni provenienti da questi due siti.

L'interpretazione dei risultati si concentra principalmente sulle prime tre colonne dell'output. La prima colonna, "Av. dissim" (Average dissimilarity), rappresenta la dissimilarità media tra i due gruppi confrontati, US e CU, che è pari a 52.72. Questo valore indica che vi è una buona differenza nelle comunità di macroinvertebrati presenti nei due siti (Anderson et al., 2008; Clarke & Gorley, 2015; Clarke & Warwick, 2001). Per comprendere meglio l'origine di questa dissimilarità, è necessario analizzare anche le colonne "Contrib. %" (Contributo percentuale) e "Cumulative %" (Contributo percentuale cumulativo). Queste colonne ordinano i taxa di macroinvertebrati in base al loro contributo decrescente alla dissimilarità totale tra i siti. In particolare, si osserva che solo cinque famiglie di macroinvertebrati su un totale di 26 contribuiscono in maniera significativa, rappresentando quasi il 60% della dissimilarità complessiva, con un contributo alla dissimilarità media pari a 30.7.

Le famiglie che hanno contribuito maggiormente alla dissimilarità tra i due siti sono, in ordine di importanza decrescente: Bithyniidae, Simuliidae, Baetidae, Ephemerellidae, e Gammaridae. Questi taxa, da soli, spiegano una parte sostanziale delle differenze osservate tra le rogge Cumana e Uselino, suggerendo che la variazione nella composizione delle comunità di macroinvertebrati è fortemente influenzata da questi gruppi. Analizzare quali taxa contribuiscono maggiormente alla dissimilarità tra i siti offre informazioni preziose per comprendere le differenze ecologiche e ambientali tra le rogge studiate.

Siccome l'analisi PERMANOVA ha restituito differenze statisticamente significative tra le due rogge, ma tenendo conto che vi sono stati due campionamenti, con l'analisi SIMPER si è voluto verificare specificatamente quali famiglie guidino tali differenze ecologiche nei singoli giorni di campionamento.

Taxon	Av. dissim	Contrib. %	Cumulative %	Mean CU-03/06	Mean US-03/06
Bithyniidae	10,53	21,53	21,53	4,33	0
Simuliidae	4,611	9,43	30,96	0,513	2,08
Elmidae	3,967	8,114	39,08	3,09	1,42
Baetidae	3,92	8,018	47,1	1,27	2,77
Ephemerellidae	3,655	7,476	54,57	1,41	2,72
Gammaridae	3,628	7,419	61,99	4,17	5,43
Goeridae	2,919	5,97	67,96	1,51	0,693
Chironomidae	2,597	5,312	73,27	0,774	1,83
Hydropsychidae	2,287	4,678	77,95	1,37	1,98
Lumbricidae	2,118	4,333	82,28	0	0,855
Valvatidae	1,572	3,215	85,5	0,636	0
Pisidiidae	1,484	3,035	88,53	0	0,68
Sphaeriidae	1,026	2,098	90,63	0,358	0
Unionidae	0,983	2,01	92,64	0,416	0
Calopterygidae	0,7852	1,606	94,25	0,277	0,139
Asellidae	0,777	1,589	95,84	0,139	0,277
Hydracarina	0,7128	1,458	97,29	0,22	0,139
Ephemeridae	0,3968	0,8115	98,11	0,139	0
Planorbidae	0,3172	0,6487	98,76	0,139	0
Caenidae	0,3172	0,6487	99,4	0,139	0
Haemopidae	0,2915	0,5962	100	0	0,139
Tubificidae	0	0	100	0	0
Ceratopogonida	0	0	100	0	0
Tabanidae	0	0	100	0	0
Limoniidae	0	0	100	0	0
Dugesia	0	0	100	0	0

Tabella 10: Output dell'analisi SIMPER sui dati dei macroinvertebrati, mettendo a confronto le repliche effettuate il giorno 03/06/2024 distinte tra i due siti di campionamento.

Procedendo in ordine cronologico, si inizia con l'analisi delle comunità di macroinvertebrati nel campionamento effettuato prima dell'immissione delle trote fario il 03/06/2024. Dall'output dell'analisi SIMPER emerge che la famiglia che contribuisce maggiormente alla dissimilarità tra i campioni pre-immissione dei siti è la Bithyniidae, la quale rappresenta il 21.5% della dissimilarità totale. Seguono, in ordine decrescente di importanza, le famiglie Simuliidae, Elmidae e Baetidae, che insieme spiegano quasi il 50% della dissimilarità complessiva. Il valore della dissimilarità totale per questo confronto è pari a 48.89.

Il passo successivo è quello di verificare se tale differenza tra siti sia rappresentata dalle stesse famiglie di macroinvertebrati dopo le due settimane che seguono l'immissione massiva di predatori (*S. trutta*).

Taxon	Av. dissim	Contrib. %	Cumulative %	Mean CU-21/06	Mean US-21/06
Bithyniidae	9,826	17,5	17,5	3,81	0,139
Simuliidae	6,609	11,77	29,28	0,988	2,4
Baetidae	6,476	11,54	40,81	1,57	3,51
Ephemerellidae	5,902	10,51	51,33	0,578	2,97
Gammaridae	5,86	10,44	61,77	3,31	5,44
Elmidae	3,671	6,54	68,31	2,08	1,22
Hydropsychidae	3,428	6,106	74,41	1,16	1,48
Chironomidae	2,815	5,015	79,43	1,3	0,578
Hydracarina	2,227	3,968	83,39	0,805	0,497
Goeridae	2,086	3,716	87,11	0,904	0,774
Lumbricidae	1,381	2,461	89,57	0	0,497
Caenidae	1,025	1,825	91,4	0,139	0,358
Ceratopogonida	0,9903	1,764	93,16	0,358	0
Dugesia	0,9423	1,679	94,84	0,139	0,358
Asellidae	0,6664	1,187	96,03	0	0,322
Pisidiidae	0,6429	1,145	97,17	0,22	0
Tabanidae	0,4061	0,7235	97,9	0,139	0
Tubificidae	0,4056	0,7226	98,62	0,139	0
Ephemeridae	0,4056	0,7226	99,34	0,139	0
Limoniidae	0,3702	0,6595	100	0,139	0
Haemopidae	0	0	100	0	0
Valvatidae	0	0	100	0	0
Unionidae	0	0	100	0	0
Sphaeriidae	0	0	100	0	0
Planorbidae	0	0	100	0	0
Calopterygidae	0	0	100	0	0

Tabella 11: Output dell'analisi SIMPER sui dati dei macroinvertebrati, mettendo a confronto le repliche effettuate il giorno 21/06/2024 distinte tra i due siti di campionamento.

Come si legge dalle due colonne di destra, questa tabella riporta il risultato dell'analisi statistica SIMPER che confronta le comunità di macroinvertebrati dei siti US e CU campionate il giorno 21/06/2024. Dove le famiglie con i maggiori contributi di dissimilarità differiscono di un solo taxon, e sono: Bithyniidae, Simuliidae, Baetidae, ed Ephemerellidae, che in tal caso rappresentano poco più del 50% della dissimilarità tra i due siti (dissimilarità media 56.13).

4.4 Analisi statistiche del confronto (pesci di piccola taglia)

Nel caso della cattura dei pesci tramite elettrostorditore, sono state effettuate 4 repliche totali, ovvero una per ogni data di campionamento. Per distinguerli nelle analisi seguenti, ogni campionamento è stato nominato con la sigla del sito (US, CU), seguito da giorno e mese in cui è stato effettuato (03/06, 21/06).

Nell'analisi dei dati sui pesci delle rogge Cumana e Uselino, non è stato possibile applicare analisi statistiche più complesse come PERMANOVA e SIMPER a causa della scarsità di dati, avendo a disposizione una sola replica per ogni data di campionamento. Questa limitazione rende difficile ottenere risultati statistici

robusti, poiché le analisi richiedono un numero sufficiente di repliche per valutare le differenze tra i gruppi in modo affidabile.

4.4.1 nMDS

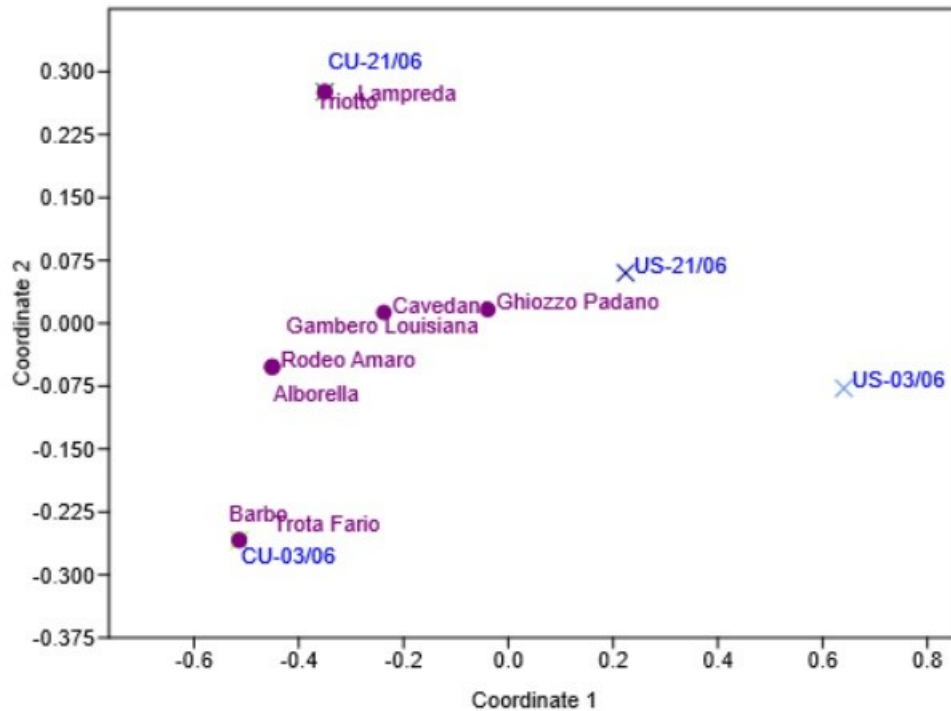


Figura 14: Output grafico dell'analisi nMDS sui dati della fauna ittica raccolti nei due siti, in due date di campionamento differenti, distinte da due diverse tonalità dello stesso colore (simbolo X): verde per il sito CU, e blu per il sito US. La tonalità più chiara indica le repliche effettuate il giorno 03/06/2024, mentre quella più scura le repliche post-immissione del 21/06/2024. In tal caso le X verdi della roggia Cumana sono poco visibili in quanto ad esse sono sovrapposti i pallini viola delle specie *S. trutta* (trotta fario) e *B. plebejus* (barbo) catturate nel primo campionamento CU-03/06, e *L. zanandreaei* (lampreda padana) e *L. aula* (triotto) del secondo campionamento CU-21/06.

L'analisi nMDS ha fornito informazioni preziose sulla composizione delle comunità di pesci. Dalla prima analisi nMDS si osserva una chiara separazione tra i campionamenti effettuati nella roggia Cumana, posizionati a sinistra nel grafico, e quelli della roggia Uselino, situati a destra. Questo indica che le comunità di pesci nei due siti sono significativamente diverse tra loro. Le uniche due specie comuni tra i due siti, ovvero il cavedano e il ghiozzo padano, si trovano in una posizione centrale nel grafico, riflettendo la loro presenza in entrambi i campionamenti e suggerendo una certa continuità ecologica. Inoltre, il valore di stress ottenuto è inferiore a 0.05, il che indica che la rappresentazione grafica delle distanze tra i diversi campioni è eccellente, mostrando un buon adattamento del modello alle differenze nei dati.

4.4.2 Clusterizzazione

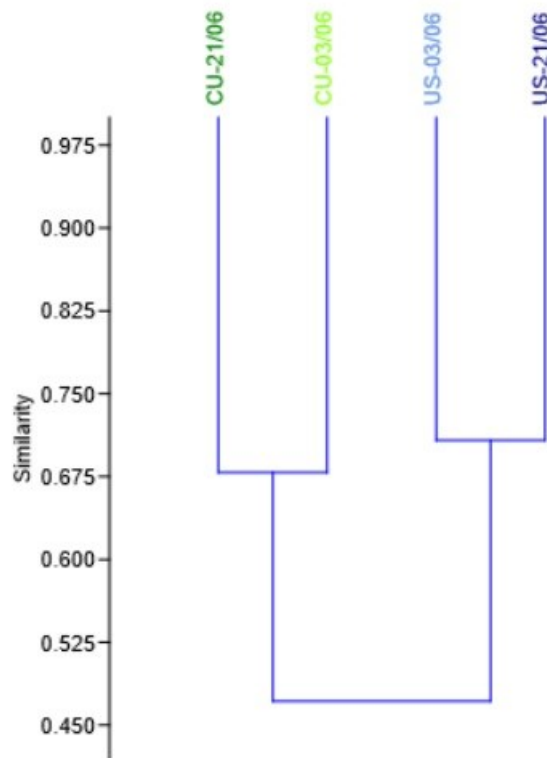


Figura 15: Dendrogramma riportante la divisione in gruppi/cluster dei campionamenti ittici in base al livello di similarità.

La clusterizzazione dei dati conferma ulteriormente i risultati ottenuti dalla nMDS, evidenziando una chiara separazione visiva tra i campionamenti della roggia Cumana (CU) e quelli della roggia Uselino (US). Questa separazione rafforza l'interpretazione iniziale secondo cui le comunità ittiche nei due siti presentano una composizione differente, suggerendo che fattori ambientali locali possano influenzare la diversità e l'abbondanza delle specie presenti. Sebbene le limitazioni nei dati non consentano analisi statistiche approfondite, i risultati qualitativi delle analisi nMDS e della clusterizzazione offrono comunque spunti significativi per comprendere la struttura delle comunità di pesci in queste due rogge.

4.5 Confronto con e tra Carte Ittiche

Con la cattura di pesci tramite l'elettropesca, è possibile fare un confronto con le ultime due carte ittiche regionali che riportano campionamenti fatti rispettivamente nel 2008 (Turrin & Locatelli, 2010) e nel 2019 (Busatto & Turrin, 2022), aiutandosi anche dall'analisi sull'andamento temporale delle specie di pesci di piccola taglia che popolano queste due rogge. Va specificato che le condizioni in cui sono stati effettuati i campionamenti per le carte ittiche e per questo lavoro di ricerca sono differenti: a partire dalla posizione, circa 150 m più a valle rispetto al campionamento della carta ittica del 2022¹³, per poi passare alle condizioni e

¹³ La carta ittica del 2010 non riporta la posizione esatta in cui è avvenuto il campionamento con gli elettrostorditori, mentre la carta ittica più aggiornata del 2022 riporta che il campionamento è stato

caratteristiche delle rogge stesse, dove durante il campionamento regionale vi era un più basso livello dell'acqua, il quale facilita le operazioni di elettropesca.

4.5.1 Sito US

Dal confronto tra le carte ittiche del 2010 e del 2022, si evince che la comunità di pesci che popola la roggia Uselino è ampiamente cambiata. Infatti, nel campionamento effettuato nel luglio 2008, sono state trovate solo 4 specie: Cavedano (*S. cephalus*), Trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*), Ghiozzo padano (*P. bonelli*) e Scazzone (*Cottus gobio*) (Turrin & Locatelli, 2010). Mentre la carta ittica più recente (campionamento di maggio 2019) riporta un aumento nel numero di specie, in particolare 10: Cavedano (*S. cephalus*), Ghiozzo padano (*P. bonelli*), Scazzone (*C. gobio*), Triotto (*L. aula*), Trota fario (*S. trutta*), Scardola (*Scardinius erythrophthalmus*), Cobite comune (*Cobitis bilineata*), Lampreda padana (*L. zanandreae*), Luccio (*Esox lucius*), e Trota marmorata (*Salmo (trutta) marmoratus*) (Busatto & Turrin, 2022). Perciò a distanza di 11 anni si osservano anche specie che già nel 2008 sembravano sparite, come il luccio, la trota fario e la lampreda padana.

Nel nostro caso invece, le condizioni dell'acqua sono risultate limitanti per la cattura di specie di grandi dimensioni, soprattutto nel campionamento del 03/06/2024 in cui il livello dell'acqua era maggiore. Tali condizioni hanno portato solo alla cattura di 12 esemplari di ghiozzo padano, di cui 5 femmine con uova¹⁴. Questi esemplari sono stati catturati su un tratto rappresentativo della roggia, lungo 80 m, perciò per il calcolo dell'indice di abbondanza relativa è stata fatta una semplice proporzione, ottenendo un indice di abbondanza pari a 2.

Mentre nel secondo campionamento, con condizioni più favorevoli, sono stati catturati 17 esemplari di *P. bonelli*, di cui 6 con uova (Indice di abbondanza relativa = 3), e 5 di *S. cephalus*, tra cui un esemplare femmina di poco più di mezzo metro, con uova¹⁵ (Appendice 9), ottenendo così un indice di abbondanza relativa uguale a 2.

Per questo studio ci interessa maggiormente l'indice di abbondanza ottenuto per il ghiozzo padano in quanto, rispetto al cavedano, risulta essere una delle principali prede della trota fario. In particolare si nota come a distanza di due settimane si osserva un miglioramento di questo dato, molto probabilmente a causa delle condizioni di forte corrente riscontrate durante il primo campionamento. Differente è la situazione se confrontata con i dati delle carte ittiche: dove nel 2010 viene riportato un indice pari a 5, e nel 2022 pari a 4. Quindi questo risulta essere diminuito nel tempo, coerentemente con quello che osserviamo oggi (Indice di abbondanza relativa = 3).

Dal confronto dell'indice di struttura della popolazione di *P. bonelli*, questo è rimasto stabile nel tempo, con valore pari ad 1, che rappresenta una popolazione ben strutturata, con presenza di esemplari sia giovani che adulti. Ciò significa che

effettuato nel tratto di roggia appena più a valle dell'intersezione tra le rogge e Via G. Garibaldi (SP1), dove le due rogge risultano essere distanti soli 2 m circa, e presentano una profondità inferiore a dove è stato fatto il campionamento per questo lavoro di tesi.

¹⁴ La maturità sessuale di *Padogobius bonelli* inizia al secondo anno di età, e la riproduzione avviene nel periodo tra maggio e luglio (Zerunian, 2004).

¹⁵ La maturità sessuale di *Squalius cephalus* inizia tra il secondo e quarto anno di età, e la riproduzione avviene nel periodo tra maggio e giugno (Zerunian, 2004).

la specie riesce ugualmente a riprodursi, nonostante le pressioni predatorie e antropiche.

4.5.2 Sito CU

Come per il sito US, anche la roggia Cumana ha subito importanti variazioni sull'ittiofauna che la popola. Queste differenze sono osservabili dal confronto con i campionamenti regionali per le carte ittiche, anche in questo caso effettuati a luglio 2008 e maggio 2019. In particolare la carta ittica del 2009 riporta 4 specie di pesci presenti nel sito CU: Cavedano (*L. cephalus*), Ghiozzo padano (*P. bonelli*), Scazzone (*C. gobio*), e Triotto (*L. aula*) (Turrin & Locatelli, 2010). Mentre la carta ittica più aggiornata dl 2022, non riporta solo una specie in più, ma cambia anche parte delle specie presenti: Ghiozzo padano (*P. bonelli*), Triotto (*L. aula*), Alborella (*A. arborella*), Rodeo Amaro (*R. amarus*), e Anguilla (*Anguilla anguilla*), quest'ultima classificata come "in pericolo critico" dall'IUCN (Busatto & Turrin, 2022; Rondinini et al., 2022).

Dal confronto dei dati raccolti con quelli delle carte ittiche si evince che la specie dominante è il ghiozzo padano, infatti nei due campionamenti sono stati catturati un totale di 52 esemplari (di cui 15 femmine con uova), e ottenendo nel secondo campionamento un indice di abbondanza pari a 4 e indice di struttura pari a 1.

Durante i campionamenti per questo lavoro di tesi, sono state catturate più specie, in particolare 9 specie: Cavedano (*L. cephalus*), Ghiozzo padano (*P. bonelli*), Triotto (*L. aula*), Alborella (*A. arborella*), Rodeo Amaro (*R. amarus*), Trota fario (*S. trutta*), Lampreda padana (*L. zanandreae*), Barbo (*B. plebejus*), e il crostaceo decapode alloctono Gambero rosso della Louisiana (*P. clarkii*). Tra queste specie, quelle segnalate come alloctone in Italia sono *R. amarus* e *P. clarkii*. Nel caso del gambero rosso della Louisiana, sono stati catturati due individui nel primo campionamento e uno nel secondo, tutti di sesso femminile, riconoscibile dai tratti fenotipici caratteristici, spiegati da Mazzoni et al. nella loro guida al riconoscimento dei gamberi di acqua dolce (Mazzoni et al., 2004).

A differenza della carta ittica più recente, non sono stati catturati esemplari di *A. anguilla*. Questa discrepanza potrebbe essere dovuta a diversi fattori, come la stagionalità, la metodica di campionamento, o eventuali fluttuazioni nelle popolazioni di anguilla. È possibile che la specie sia presente ma in numeri molto ridotti, rendendone difficile la cattura.

Tuttavia sono state catturate altre specie che non erano state segnalate neanche nel documento del 2009, come il barbo, la trota fario, la lampreda padana, e il gambero della Louisiana. Questi dati potrebbero indicare cambiamenti nelle condizioni ambientali, che potrebbero aver favorito l'insediamento di queste specie.

Dai campionamenti effettuati per questo lavoro di tesi, dopo il ghiozzo padano, le due specie più abbondanti nella roggia Cumana risultano essere: *A. arborella* e *L. cephalus*, rispettivamente con la cattura di 16 (di cui 9 femmine con uova¹⁶) e 14 esemplari ma con differenti strutture. Infatti l'alborella presenta una popolazione strutturata (Valore indice di struttura = 1), mentre il cavedano presenta una popolazione non strutturata, con la presenza di soli adulti (Valore indice di struttura = 3), come era stato segnalato anche nella carta ittica del 2009.

¹⁶ La maturità sessuale di *Alburnus arborella* inizia al secondo anno di età e la riproduzione avviene nel periodo tra giugno e agosto (Zerunian, 2004).

5. DISCUSSIONE

Innanzitutto, è importante sottolineare che lo studio è stato condotto su un numero limitato di siti, il che potrebbe limitare la generalizzazione dei risultati. Le osservazioni ottenute potrebbero essere influenzate dalla variabilità intrinseca dell'ecosistema fluviale, nonostante le due rogge esaminate (Uselino e Cumana) presentino caratteristiche ecologiche e morfologiche simili. Un ulteriore fattore da considerare è che il primo campionamento (pre-immissione) è stato eseguito pochi giorni dopo un episodio di pioggia, che ha aumentato il livello dell'acqua nelle rogge, seppur in modo lieve. Questo potrebbe aver modificato temporaneamente la composizione della comunità di macroinvertebrati e, al contempo, ha reso più difficili le operazioni di pesca elettrostordente a causa dell'aumento della corrente. La situazione ideale per questo tipo di attività richiede infatti condizioni di acqua bassa e corrente ridotta, come osservato nella roggia Cumana (meno soggetta a tali fluttuazioni del livello dell'acqua), dove sono stati catturati molti più pesci, anche di grandi dimensioni, rispetto alla roggia Uselino, dove la maggiore forza della corrente ha facilitato la fuga degli esemplari di taglia maggiore.

Le prime analisi sui macroinvertebrati si sono concentrate sulla valutazione della qualità ecologica delle rogge utilizzando l'indice STAR_ICMi e l'indice di diversità di Shannon. Il confronto dei risultati delle due analisi sembra inizialmente portare a conclusioni contraddittorie: un decremento della qualità ecologica nel sito US, accoppiato a un aumento della biodiversità dei macroinvertebrati. Questo potrebbe essere dovuto alle caratteristiche della roggia Cumana (fattori ambientali) e/o alla maggiore presenza di trote fario nella roggia Uselino (fattori ecologici), comportando una maggiore predazione su alcune famiglie di macroinvertebrati. Infatti la maggiore diversità registrata nella roggia Cumana potrebbe rappresentare un ecosistema più stabile e resiliente. La diversità contribuisce alla stabilità ecologica, rendendo l'ecosistema meno vulnerabile a perturbazioni e più capace di recuperare da eventi di disturbo. Tuttavia, questa apparente contraddizione può essere spiegata dalle differenze nei criteri di valutazione utilizzati dai due indici. L'indice di Shannon è un indicatore quantitativo, che tiene conto del numero di individui e delle famiglie presenti, mentre l'indice STAR_ICMi è un indicatore che lavora su classi di qualità discrete, basato sulla sensibilità delle famiglie di macroinvertebrati presenti. L'aumento dell'indice di Shannon, associato al raddoppio degli individui catturati e all'aumento del numero di famiglie, non riflette necessariamente un miglioramento della qualità ecologica. Al contrario, il calo dell'indice STAR_ICMi nel sito US indica che le famiglie presenti, sebbene aumentate numericamente, comprendono specie meno sensibili agli impatti ambientali, con un conseguente peggioramento dello stato ecologico.

Per comprendere meglio questa dinamica, sono stati effettuati ulteriori test sull'indice STAR_ICMi, rimuovendo prima interamente e poi parzialmente (1/3) le famiglie più abbondanti (Baetidae, Gammaridae e Simuliidae) dai dati usati per il calcolo. Questi test hanno mostrato variazioni minime nei valori dell'indice, confermando che la classe di qualità ecologica delle rogge non sarebbe cambiata significativamente. Questo evidenzia che non è solo la quantità di macroinvertebrati

a essere rilevante, ma la combinazione specifica delle famiglie presenti e il loro contributo ecologico complessivo.

I test statistici si sono rivelati cruciali per chiarire i risultati ottenuti. In particolare, hanno dimostrato che le composizioni delle comunità dei due corsi d'acqua differiscono significativamente dal punto di vista ecologico, mentre non sono emerse differenze significative tra i campionamenti pre- e post-immissione di *Salmo trutta*, smentendo così le ipotesi iniziali. Una possibile spiegazione di queste differenze spaziali, piuttosto che temporali, potrebbe risiedere nella lunga storia di immissioni di trote nella roggia Uselino, un ambiente sottoposto a pressioni antropiche continue per oltre 50 anni, gestito dalla società di pescatori sportivi La Sorgente, e possibilmente ormai in parte adattatosi a tale situazione. Inoltre, queste differenze potrebbero essere influenzate dalla cattura di *Squalius cephalus*, l'unica altra specie di pesce che può essere pescata e trattenuta nella stessa roggia. Va considerato anche che le due rogge presentano profondità e substrati leggermente differenti ed inoltre la roggia Uselino, rispetto alla Cumana, è più soggetta a variazioni di portata dovute agli input idrici provenienti dal Brenta, fattore che potrebbe ulteriormente incidere sulla struttura delle comunità di macroinvertebrati presenti nei due siti. L'effetto top-down della predazione da parte delle trote potrebbe invece spiegare le differenze tra i siti, con un impatto diretto sulle popolazioni di pesci di piccola taglia e di alcune famiglie di macroinvertebrati, provocando una cascata trofica che favorisce la proliferazione di altri taxa di macroinvertebrati e determinando, di conseguenza, un momentaneo peggioramento dello stato ecologico nella roggia Uselino (da "buono" a "sufficiente").

Per quanto riguarda la fauna ittica, i test statistici non sono stati effettuati a causa della mancanza di repliche sufficienti, ma le analisi nMDS e di clusterizzazione hanno confermato l'esistenza di una notevole differenza tra le comunità ittiche delle due rogge, in linea con le osservazioni iniziali. Le continue immissioni di trote nella roggia Uselino potrebbero aver influenzato la biodiversità ittica e l'abbondanza di specie di piccola taglia, se non del ghiozzo padano capace di nascondersi tra i ciottoli del fondale. Mentre la roggia Cumana, priva di immissioni, ospita una maggiore varietà di specie e un numero significativamente maggiore di piccoli pesci.

Tra le due specie comuni a entrambi i siti, *Padogobius bonelli* (Ghiozzo padano) riveste un ruolo ecologico importante nella rete trofica. Questa specie si nutre principalmente di macroinvertebrati bentonici, ma funge anche da preda per pesci predatori come le trote e i cavedani. La presenza di *P. bonelli* è considerata un indicatore della buona qualità degli habitat fluviali, poiché la specie predilige ambienti con condizioni naturali integre (Zerunian, 2002). Inoltre, *P. bonelli* ha mostrato valori elevati dell'indice di abbondanza relativa, con variazioni comprese tra 2 e 4 (su un massimo di 5), con valori costantemente inferiori di un punto nella roggia Uselino, possibilmente dovuto alla predazione da parte delle trote e dei cavedani.

Nella roggia Uselino, si osserva una situazione simile per altri pesci di piccola taglia. Oltre al ghiozzo padano, sono stati catturati solo esemplari di *S. cephalus* (cavedano) di grandi dimensioni (struttura di popolazione = 3, popolazione non

strutturata con presenza di soli esemplari adulti), suggerendo una forte pressione predatoria sulle specie di piccola taglia. Questo potrebbe essere dovuto sia alla maggiore vulnerabilità alla predazione di pesci che vivono in colonna d'acqua, sia alla preferenza di tali specie per ambienti con acque più tranquille (Zerunian, 2004), come quelle della roggia Cumana, dove la corrente è meno intensa. Questi aspetti rinforzano l'affermazione detta prima sull'effetto della predazione delle trote fario: cioè che la pressione predatoria potrebbe aver comportato la presenza di un minor numero di prede e l'assenza di cavedani di piccola taglia, che sono invece di dimensioni tali da non essere minacciati dalla predazione della trota e al contrario diventano suoi competitori per le stesse risorse.

La seconda specie comune tra i due siti è *S. cephalus*, si tratta di una specie onnivora e generalista, che si nutre di una vasta gamma di alimenti, inclusi insetti, macroinvertebrati, e piccoli pesci, contribuendo così al controllo delle popolazioni predate (Zerunian, 2002). Nelle rogge oggetto di studio questa specie risulta essere in competizione solo con *S. trutta*, ma la sua abbondanza non sembra averne risentito, dato che presenta lo stesso valore dell'indice di abbondanza relativa in entrambi i siti.

Oltre a queste due specie, vi sono altre specie presenti/catturate nella roggia Cumana che hanno un interessante significato ecologico, in quanto specie aliene, ovvero *P. clarkii* e *R. amarus*. La cattura del crostaceo alloctono gambero rosso della Louisiana, la cui presenza è nota nella regione Veneto (Lo Parrino et al., 2020), solleva preoccupazioni per le potenziali implicazioni ecologiche, dato che questa specie è nota per essere invasiva e dannosa per gli ecosistemi locali. Gli effetti negativi di *P. clarkii* includono la competizione diretta con i gamberi autoctoni, come *Austropotamobius pallipes* Lereboullet, 1858, che è in declino in molte aree a causa della competizione per le risorse e della trasmissione della peste del gambero, di cui *P. clarkii* è portatore. Inoltre, *P. clarkii* è un efficiente predatore di macroinvertebrati, piccoli pesci e uova di anfibi, causando un forte declino nella biodiversità locale. Il gambero rosso della Louisiana è noto anche per alterare gli habitat, scavando gallerie nelle sponde dei corsi d'acqua e favorendo l'erosione. Questo comportamento può modificare la morfologia dei corpi idrici, riducendo la qualità dell'acqua e influenzando negativamente la vegetazione acquatica (Scalici et al., 2009).

Nel caso del rodeo amaro, questa specie è stata introdotta principalmente a scopo ornamentale, ma la sua diffusione è divenuta una preoccupazione per gli ecosistemi acquatici, in particolare in Veneto. Dal punto di vista ecologico, *R. amarus* presenta un'interessante peculiarità riproduttiva: le femmine depongono le uova all'interno delle valve dei molluschi bivalvi, dove i giovani si sviluppano protetti dai predatori esterni. Questa strategia unica di ovodeposizione potrebbe interferire con le popolazioni di molluschi autoctoni, in quanto il bivalve è obbligato a ospitare uova e larve di *R. amarus*, sottraendo risorse che potrebbero essere destinate alla propria riproduzione. Sebbene *R. amarus* abbia un ruolo ecologico limitato rispetto ai predatori apicali, il suo effetto sulle specie indigene e sui bivalvi può influire negativamente sulla biodiversità e sul funzionamento degli ecosistemi acquatici. Inoltre, la sua capacità di adattarsi ad ambienti antropizzati e inquinati aumenta la

sua diffusione in aree dove altre specie potrebbero subire un declino (Van Damme et al., 2007).

La presenza di queste o altre nuove specie alloctone solleva interrogativi sulla gestione della roggia Cumana e sui potenziali impatti sulla biodiversità autoctona. La continua espansione di queste specie potrebbe influenzare negativamente le popolazioni native e alterare gli equilibri ecologici, rendendo necessarie strategie di gestione adeguate.

6. CONCLUSIONE

Lo studio condotto sulla roggia Uselino e sulla roggia Cumana ha permesso di valutare l'impatto ecologico dell'immissione di trote fario (*Salmo trutta*) sulle comunità di macroinvertebrati bentonici e sui pesci di piccola taglia, fornendo importanti evidenze sulla dinamica ecologica e sugli effetti del controllo top-down esercitato dai predatori apicali in ambienti lotici antropizzati.

Le analisi hanno mostrato che la roggia Uselino, soggetta a continue immissioni di trote da oltre 50 anni, presenta una comunità di macroinvertebrati caratterizzata da specie più tolleranti a tali stress e una qualità ecologica complessivamente inferiore rispetto alla roggia Cumana, priva di immissioni. Sebbene la diversità numerica sia aumentata dopo l'immissione, gli indici di qualità ecologica hanno indicato un peggioramento, suggerendo che la predazione esercitata dalle trote favorisca specie meno sensibili e alteri la struttura della comunità.

L'effetto delle immissioni di trote fario nella roggia Uselino può essere interpretato come un esempio di controllo top-down. Le trote, in qualità di predatori apicali, esercitano una pressione predatoria significativa su macroinvertebrati e pesci di piccola taglia, alterando la struttura della comunità e favorendo la proliferazione di certe famiglie di macroinvertebrati più resistenti a pressioni ambientali. Questo fenomeno potrebbe aver portato ad una cascata trofica che ha contribuito al peggioramento della qualità ecologica della roggia Uselino.

La fauna ittica della roggia Uselino ha infatti evidenziato una ridotta presenza di pesci di piccola taglia e una popolazione di *Squalius cephalus* (cavedano) con una struttura non equilibrata e dominata da adulti, a indicare una forte pressione predatoria. Al contrario, la roggia Cumana ha mostrato una maggiore biodiversità e abbondanza di piccoli pesci, confermando l'influenza delle immissioni di trote nella riduzione della diversità funzionale¹⁷ delle comunità ittiche.

La presenza di specie aliene nella roggia Cumana, come *Procambarus clarkii* (gambero rosso della Louisiana) e *Rhodeus amarus* (rodeo amaro), solleva ulteriori preoccupazioni ecologiche, sottolineando la necessità di gestire queste introduzioni per evitare impatti negativi sugli ecosistemi locali.

Le evidenze raccolte nel presente studio suggeriscono che l'immissione continua di trote fario nella roggia Uselino possa aver determinato un impatto rilevante sulla comunità biologica locale, innescando una serie di effetti ecologici che hanno influenzato negativamente sia la biodiversità che la qualità ecologica dell'habitat. In particolare, l'alterazione delle dinamiche trofiche attraverso il controllo top-down potrebbe aver portato a una riduzione della diversità funzionale delle comunità ittiche e a un cambiamento nella composizione della comunità dei macroinvertebrati bentonici. Questo impatto non è emerso immediatamente attraverso il confronto tra i campionamenti pre- e post-immissione, ma piuttosto attraverso la comprensione delle differenze generali tra le due rogge e l'analisi della storia ecologica dell'area.

¹⁷ La diversità funzionale delle comunità ittiche si riferisce alla varietà e all'abbondanza di tratti ecologici e comportamentali che caratterizzano le specie presenti in un ecosistema acquatico. Questa diversità non si limita al numero di specie (diversità tassonomica), ma include anche le differenze nei ruoli ecologici, come le strategie di alimentazione, le nicchie ecologiche, le modalità di riproduzione e le risposte alle variazioni ambientali (Cadotte et al., 2011).

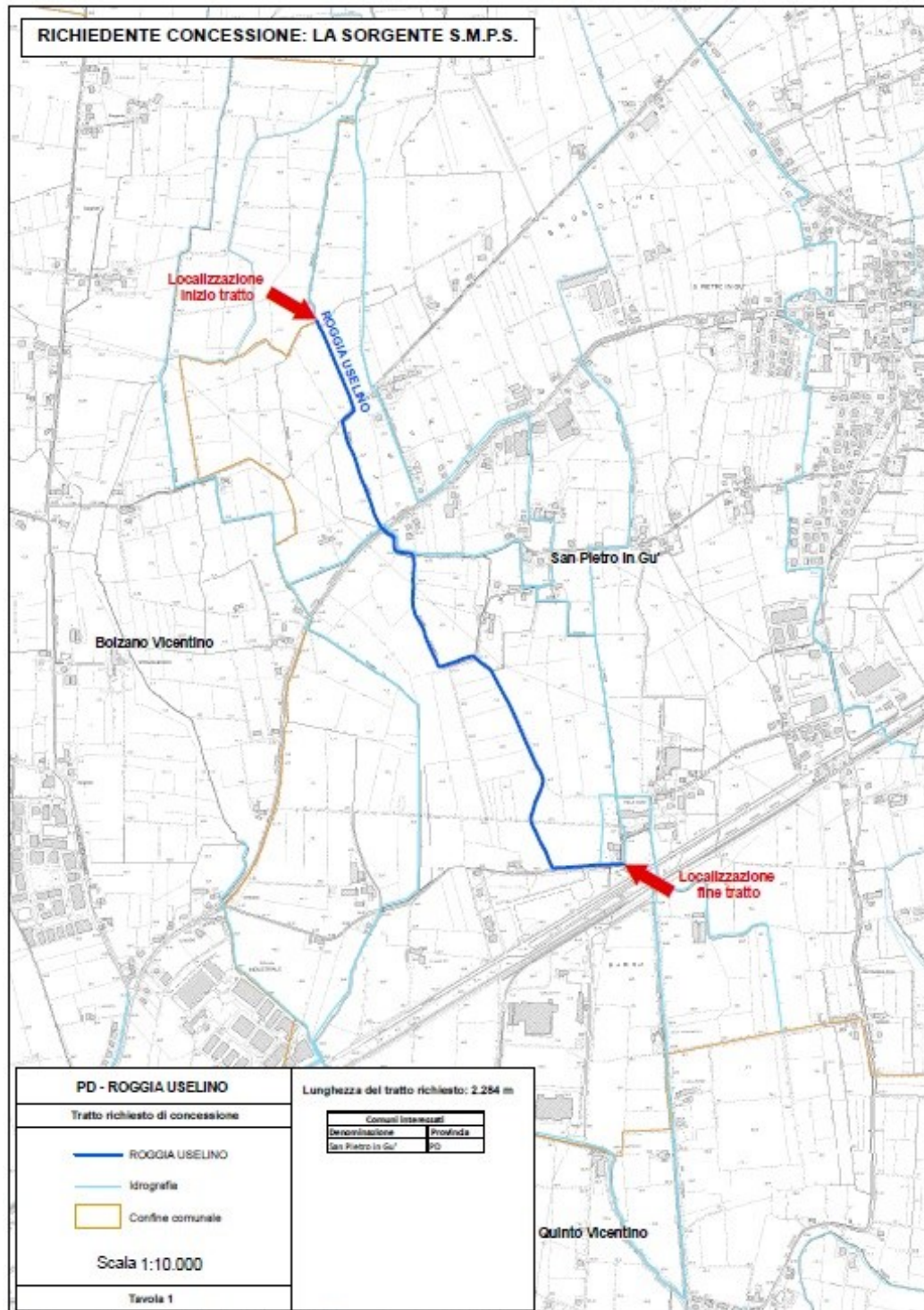
In termini di gestione ambientale, i risultati di questo studio sottolineano l'importanza di monitorare attentamente, anche solo a scopo cautelativo, le pratiche di immissione delle trote fario nella roggia Uselino, dato l'impatto che queste potrebbero aver avuto sulle comunità ittiche e bentoniche. La lunga storia di immissioni potrebbe aver contribuito a creare un ecosistema dove la pressione predatoria esercitata dalle trote ha modificato le dinamiche trofiche, riducendo la biodiversità dei pesci di piccola taglia e alterando la struttura delle comunità di macroinvertebrati.

Tuttavia, va sottolineato che lo studio ha affrontato alcune limitazioni, tra cui il numero limitato di siti campionati e le condizioni naturali variabili che potrebbero aver influenzato i risultati. Per questo motivo, ulteriori ricerche, condotte su una scala spaziale e temporale più ampia, sarebbero necessarie per confermare o smentire le conclusioni qui riportate così come la loro generalità. Studi futuri potrebbero così fornire una comprensione più precisa dell'impatto delle immissioni di trote fario e contribuire alla definizione di pratiche di gestione più sostenibili per gli ecosistemi fluviali locali.

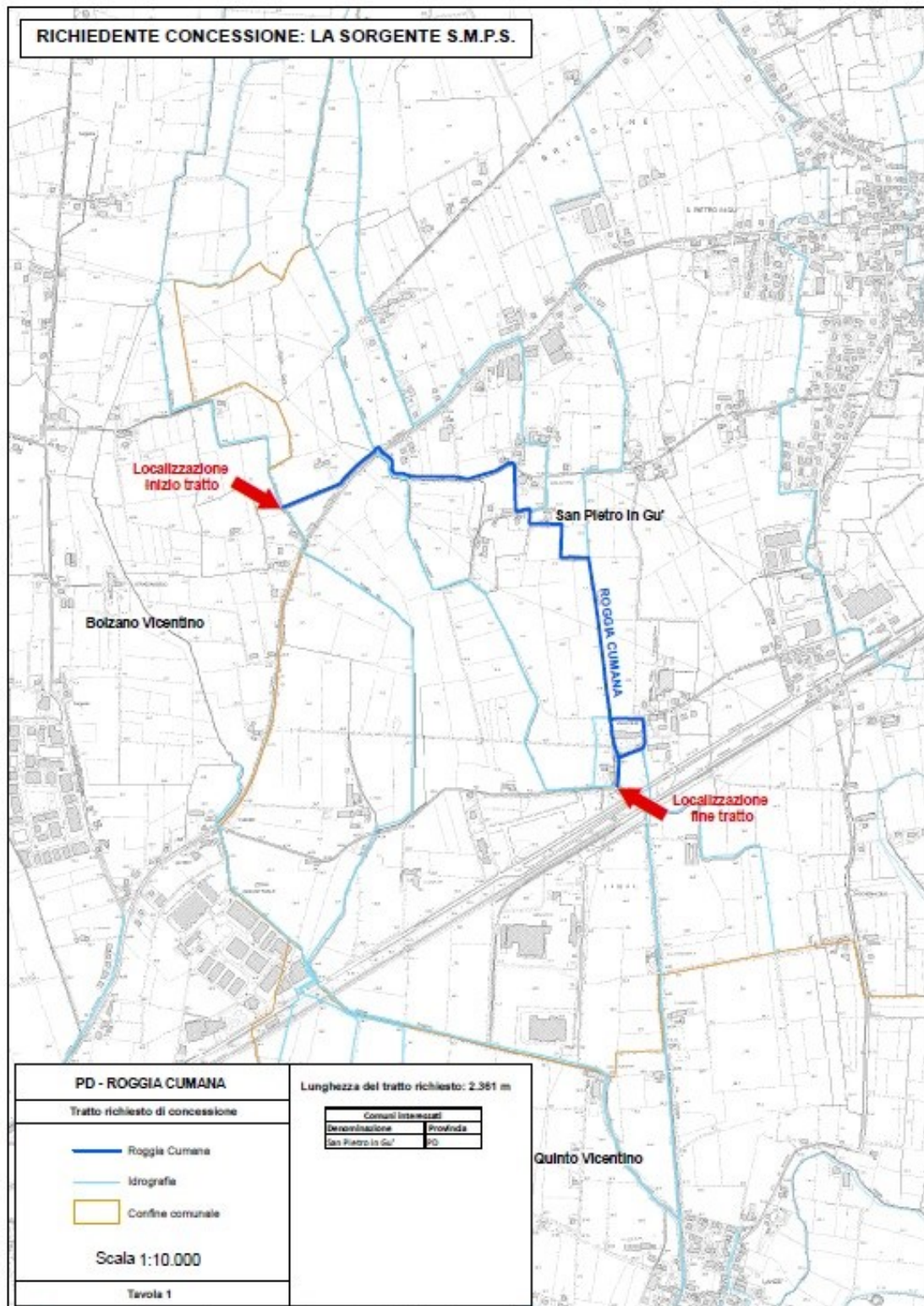
È importante riconoscere l'impegno della società mandamentale di pescatori sportivi "La Sorgente" che, consapevole di queste dinamiche, sta già lavorando per garantire la presenza di zone di divieto di pesca. Queste iniziative mirano a promuovere un equilibrio tra l'attività alieutica e la conservazione degli ecosistemi fluviali naturali, favorendo il mantenimento di habitat rifugio per le specie autoctone e contribuendo alla qualità ecologica complessiva. Continuare su questa strada, con un approccio gestionale che bilanci le esigenze della pesca sportiva con la tutela della biodiversità, rappresenta una strategia efficace per il ripristino e la conservazione dell'equilibrio ecologico nelle rogge del territorio.

7. APPENDICE

APPENDICE 1: Mappa del tratto gestito da “La Sorgente” s.m.p.s. della roggia Uselino.



APPENDICE 2: Mappa del tratto gestito da “La Sorgente” s.m.p.s. della roggia Cumana.



APPENDICE 3: Fotografie del sito di campionamento US.

3a) Sito US, il giorno 03/06/2024:



3b) Sito US, il giorno 03/06/2024:



3c) Sito US, il giorno 21/06/2024:



APPENDICE 4: Fotografie del sito di campionamento CU.

4a) Sito CU, il giorno 03/06/2024:



4b) Sito CU, il giorno 03/06/2024:



4c) Sito CU, il giorno 03/06/2024:



APPENDICE 5: Schede di campo compilate per la valutazione preliminare dei siti di campionamento.

5a) Scheda di campo del campionamento "pre-immissione" delle trote, effettuato il giorno 03/06/2024 nella roggia di controllo Cumana.

SCHEDA DI CAMPIONAMENTO
MACROINVERTEBRATI BENTONICI FLUVIALI

CORSO D'ACQUA: <u>ROGGIA CUMANA</u>	N_VERBALE:
STAZIONE N.: <u>2 CU</u>	N_LIMS:
DATA: <u>03/06/2024</u>	
ORA: <u>11.00 - 11.00</u>	

FONDO DEL FIUME VISIBILE	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> PARZIALMENTE
SEQUENZA RIFFLE-POOL RICONOSCIBILE	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
MESOHABITAT CAMPIONATO	<input type="checkbox"/> RIFFLE	<input type="checkbox"/> POOL	<input checked="" type="checkbox"/> GENERICO
STRUMENTO	<input checked="" type="checkbox"/> SURBER	<input type="checkbox"/> R.I. CON DELIMITAZIONE DI SUPERFICIE	
AREA TOTALE CAMPIONATA	<input type="checkbox"/> 0.5 M ²	<input checked="" type="checkbox"/> 0, 25 CM ²	<input type="checkbox"/> 1M ²
RETE DI MONITORAGGIO	<input checked="" type="checkbox"/> OPERATIVO	<input type="checkbox"/> SORVEGLIANZA	

R.I. = retino immanicato

LUNGHEZZA TRATTO CAMPIONATO (m): 50

MICROHABITAT MINERALI					MICROHABITAT BIOTICI				
COD.	SUBSTRATO	%	N. R.	FLUSSE	COD.	SUBSTRATO	%	N. R.	FLUSSE
ARG	LIMO/ARGILLA (minore di 6µ)		2		AL	MACRO-MICRO ALGHE alghe verdi visibili macroscopicamente			
SAB	SABBIA (tra 6µ e 2 mm)				SO	MACROFITE SOMMERSE Indivi muschi e characeae	1		
CHI	GHIAIA (tra 2 mm e 2 cm)		1		EM	MACROFITE EMERGENTI (Syrpha, carex, phragmites)			
MIC	MICROLITHAL ostioli tra 2 e 5 cm *		1		TP	PARTI VIVE DI PIANTE TERRESTRI radici fucanti di vegetazione riparia			
MES	MESOLITHAL pietre tra 6 e 20 cm *				XV	XYLAL (LEGNO) legno morto, rami, radici			
MAC	MACROLITHAL pietre comprese tra 20 e 40 cm *				CP	CPOM depositi di materiale organico grossolano			
MEL	MEGALITHAL pietre e massi che superano i 40 cm *				FP	FPOM depositi di materiale organico fine			
ART	ARTIFICIALE (es. cemento)				SA	FILM BATTERICI, FUNGHI E SAPROPEL			
IGR	IGROPETRICO strati d'acqua su roccia riparia ricoperta da muschi								

N.R. = Numero Repliche
 * Le dimensioni indicate si riferiscono all'asse intermedio
1 x macchia / 3 x 2 cm / roccia *1 x ghiaia / meso*

RICOPERTURA NEL MESOHABITAT	
<input checked="" type="checkbox"/> ASSENZA DI UNA SPECIFICA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI UNIFORME	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA UN SOTTILE STRATO DI LIMO
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA MUSCHI	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA ALGHE INCROSTANTI
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA HYDRURUS	PRESENZA DI ALTRA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI SPECIFICARE:

FLUSSE DA CONSIDERARE NEL CAMPIONAMENTO		NOTE ^o
NP	NON PERCETTIBILE	
SM	LISCIO (FLUSSO LAMINARE)	<input type="checkbox"/> SMISTAMENTO SU CAMPIONE VIVO <i>Secchi per max 20°C circa</i> MAX. PROF.: 50 cm CAMPIONATO
UP	UPWELLING	
<input checked="" type="checkbox"/> INCRESPATO		
UW	UNBROKEN STANDING WAVES	
BW	BROKEN STANDING WAVES	
CH	CHUTE	
FLUSSE DA EVITARE NEL CAMPIONAMENTO		
FP	CASCATA	
CF	FLUSSO CAOTICO	

OPERATORI: _____

5b) Scheda di campo del campionamento "pre-immissione" delle trote, effettuato il giorno 03/06/2024 nella roggia Uselino.

SCHEDA DI CAMPIONAMENTO	
MACROINVERTEBRATI BENTONICI FLUVIALI	

CORSO D'ACQUA: ROGGIA USELINO	N_VERBALE:
STAZIONE N.: US	
DATA: 03/06/2024	N_LIMS:
ORA: 15:00 - 17:00	

FONDO DEL FIUME VISIBILE	<input type="radio"/> SI	<input checked="" type="radio"/> NO	<input type="radio"/> PARZIALMENTE
SEQUENZA RIFFLE-POOL RICONOSCIBILE	<input type="radio"/> SI	<input checked="" type="radio"/> NO	
MESOHABITAT CAMPIONATO	<input type="radio"/> RIFFLE	<input type="radio"/> POOL	<input checked="" type="radio"/> GENERICO
STRUMENTO	<input checked="" type="checkbox"/> SURBER	<input type="checkbox"/> R.I. CON DELIMITAZIONE DI SUPERFICIE	
AREA TOTALE CAMPIONATA	<input type="radio"/> 0.5 M ²	<input checked="" type="radio"/> 0,25	<input type="radio"/> 1M ²
RETE DI MONITORAGGIO	<input checked="" type="checkbox"/> OPERATIVO	<input type="checkbox"/> SORVEGLIANZA	

R.I. = retino immanicato

LUNGHEZZA TRATTO CAMPIONATO (m): 50 (25+25)

MICROHABITAT MINERALI					MICROHABITAT BIOTICI				
COD.	SUBSTRATO	%	N.R.	FLUSSO	COD.	SUBSTRATO	%	N.R.	FLUSSO
ARG	LIMO/ARGILLA (minore di 6µ)				AL	MACRO-MICRO ALGHE alga verdi visibili macroscopicamente			
SAB	SABBIA (tra 6µ e 2 mm)				SD	MACROFITE SOMMERSE INDOLI MUSCHI e Characeae	2		
GHI	GHIAIA (tra 2 mm e 2 cm)		3		EM	MACROFITE EMERGENTI (Typha, Carex, Phragmites)			
MIC	MICROLITHAL pietre tra 2 e 6 cm *				TP	PARTI VIVE DI PIANTE TERRESTRI radici fluttuanti di vegetazione riparia			
MES	MESOLITHAL pietre tra 6 e 20 cm *				XV	XYLAL (LEGNO) legno morta, rami, radici			
MAC	MACROLITHAL pietre comprese tra 20 e 40 cm *				CP	CPOM depositi di materiale organico grossolano			
MGL	MEGALITHAL pietre e massi che superano i 40 cm *				FP	FPOM depositi di materiale organico fine			
ART	ARTIFICIALE (es. cemento)				BA	FILM BATTERICI, FUNGHI E SAPROPEL			
IGR	IGROFETICO strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi								

N.R. = Numero Repliche
* Le dimensioni indicate si riferiscono all'asse intermedio

RICOPERTURA NEL MESOHABITAT	
ASSENZA DI UNA SPECIFICA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI UNIFORME	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA UN SOTTILE STRATO DI LIMO
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA MUSCHI	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA ALGHE INCROSTANTI
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA HYDRURUS	PRESENZA DI ALTRA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI SPECIFICARE:

FLUSSI DA CONSIDERARE NEL CAMPIONAMENTO		NOTE ^o
NP	NON PERCETTIBILE	
SM	LISCIO (FLUSSO LAMINARE)	
UP	UPWELLING	
<input checked="" type="checkbox"/>	INCRESPATO	
UW	UNBROKEN STANDING WAVES	
BW	BROKEN STANDING WAVES	
CH	CHUTE	
FLUSSI DA EVITARE NEL CAMPIONAMENTO		
<input checked="" type="checkbox"/>	CASCATA (STRETTOIA ARTIFICIALE AVVICATA)	<input type="checkbox"/> SMISTAMENTO SU CAMPIONE VIVO MAX PROF. : 65 cm CAMPIONATO
CF	FLUSSO CAOTICO	

* Segnalare qualsiasi anomalia verificatasi durante il campionamento (esempio: difficoltà ad eseguire il campionamento secondo il protocollo previsto).

OPERATORI: _____

5c) Scheda di campo del campionamento "post-immissione" delle trote, effettuato il giorno 21/06/2024 nella roggia di controllo Cumana.

SCHEDA DI CAMPIONAMENTO	
MACROINVERTEBRATI BENTONICI FLUVIALI	

CORSO D'ACQUA: ROGGIA CUMANA	N_VERBALE:
STAZIONE N.: CU	
DATA: 21/06/2024	N_LIMS:
ORA: 11:00 - 14:00	

FONDO DEL FIUME VISIBILE	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> PARZIALMENTE
SEQUENZA RIFFLE-POOL RICONOSCIBILE	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
MESOHABITAT CAMPIONATO	<input type="checkbox"/> RIFFLE	<input type="checkbox"/> POOL	<input checked="" type="checkbox"/> GENERICO
STRUMENTO	<input checked="" type="checkbox"/> SURBER	<input type="checkbox"/> R.I. CON DELIMITAZIONE DI SUPERFICIE	
AREA TOTALE CAMPIONATA	<input type="checkbox"/> 0.5 M ²	<input checked="" type="checkbox"/> 0,25 M ²	<input type="checkbox"/> 1 M ²
RETE DI MONITORAGGIO	<input checked="" type="checkbox"/> OPERATIVO	<input type="checkbox"/> SORVEGLIANZA	

R.I. = retino immancato

LUNGHEZZA TRATTO CAMPIONATO (m): 50

	COO.	SUBSTRATO	%	N.R.	FLUSSE		COO.	SUBSTRATO	%	N.R.	FLUSSE
	MICROHABITAT MINERALI	ARC	LIMO/ARGILLA (minore di 6µ)		2			MICROHABITAT BIOTICI	AL	MACRO-MICRO ALGHE alghe verdi visibili macroscopicamente	
	SAB	SABBIA (tra 6µ e 2 mm)					SO	MACROFITE SOMMERSE inclusi muschi e characeae		1	
	GHI	GHIATA (tra 2 mm e 2 cm)		1			EM	MACROFITE EMERGENTI (Hypha, Carex, Phragmites)			
	MIC	MICROLITHAL (cottoli tra 2 e 6 cm *)		1			TP	PARTI VIVE DI PIANTE TERRESTRI radici fluttanti di vegetazione riparia			
	MES	MESOLITHAL pietre tra 6 e 20 cm *					XY	XYLAL (LEGNO) legno morto, rami, radici			
	MAC	MACROLITHAL pietre comprese tra 20 e 40 cm *					CP	CPOM decomisi di materiale organico grossolano			
	MGL	MEGALITHAL pietre e massi che superano i 40 cm *					FP	FPOM depositi di materiale organico fine			
	ART	ARTIFICIALE (es. cemento)					BA	FILM BATTERICI, FUNGHI E SAPROPEL			
	IGR	BIOPLETINICO strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi									

N.R. = Numero Repliche
* Le dimensioni indicate si riferiscono all'asse intermedio

RICOPERTURA NEL MESOHABITAT	
ASSENZA DI UNA SPECIFICA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI UNIFORME	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA UN SOTTILE STRATO DI LIMO
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA MUSCHE	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA ALGHE INCROSTANTI
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA HYDRURUS	PRESENZA DI ALTRA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI SPECIFICARE:

FLUSSE DA CONSIDERARE NEL CAMPIONAMENTO		NOTE*
NP	NON PERCETTIBILE	
SM	LISCIO (FLUSSO LAMINARE)	
UP	UPWELLING	
<input checked="" type="checkbox"/>	INCRESPATO	
UW	UNBROKEN STANDING WAVES	
BW	BROKEN STANDING WAVES	
CH	CHUTE	
FLUSSE DA EVITARE NEL CAMPIONAMENTO		
FF	CASCATA	
CF	FLUSSO CAOTICO	

* Segnalare qualsiasi anomalia verificatasi durante il campionamento (esempio: difficoltà ad eseguire il campionamento secondo il protocollo previsto).

OPERATORI: _____

5a) Scheda di campo del campionamento "post-immissione" delle trote, effettuato il giorno 21/06/2024 nella roggia di Uselino.

SCHEDA DI CAMPIONAMENTO	
MACROINVERTEBRATI BENTONICI FLUVIALI	

CORSO D'ACQUA: <u>ROGGIA USELINO</u>	N_VERBALE:
STAZIONE N.: <u>U3</u>	
DATA: <u>21/06/2024</u>	N_LIMS:
ORA: <u>14:30-17:00</u>	

FONDO DEL FIUME VISIBLE	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> PARZIALMENTE
SEQUENZA RIFFLE-POOL RICONOSCIBILE	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
MESOHABITAT CAMPIONATO	<input type="checkbox"/> RIFFLE	<input type="checkbox"/> POOL	<input checked="" type="checkbox"/> GENERICO
STRUMENTO	<input checked="" type="checkbox"/> SUBBER	<input type="checkbox"/> R.I. CON DELIMITAZIONE DI SUPERFICIE	
AREA TOTALE CAMPIONATA	<input type="checkbox"/> 0.5 M ²	<input checked="" type="checkbox"/> 0,25 M ²	<input type="checkbox"/> 1 M ²
RETE DI MONITORAGGIO	<input checked="" type="checkbox"/> OPERATIVO	<input type="checkbox"/> SORVEGLIANZA	

R.I. = retino immergibile

LUNGHEZZA TRATTO CAMPIONATO (m): 50 (25+25 PRIMA E DOPO LA STROTTAIA PRINCIPALE)

MICROHABITAT MINERALI					MICROHABITAT BIOTICI				
COD.	SUBSTRATO	%	N.R.	FLUSSE	COD.	SUBSTRATO	%	N.R.	FLUSSE
ARG	LIMO/ARGILLA (minore di 6µ)				AL	MACRO-MICRO ALGHE alghe verdi visibili macroscopicamente			
SAB	SABBIA (tra 6µ e 2 mm)				SO	MACROFITE SOMMERSE inclusi muschi e Characee		2	
GHE	GHIAIA (tra 2 mm e 2 cm)		3		EM	MACROFITE EMERGENTI (Hypha, Carex, Phragmites)			
MIC	MICROLITHAL ciottoli tra 2 e 6 cm *				TP	PARTI VIVE DI PIANTE TERRESTRI radici fluttanti di vegetazione riparia			
MES	MESOLITHAL pietre tra 6 e 20 cm *				XY	XYLAL (LEGNO) legno morto, rami, radici			
MAC	MACROLITHAL pietre comprese tra 20 e 40 cm *				CP	CPOM depositi di materiale organico grossolano			
MGL	MEGALITHAL pietre e massi che superano i 40 cm *				FP	FPOM depositi di materiale organico fine			
ART	ARTIFICIALE (es. cemento)				BA	FELM BATTERICI, FUNGHI E SAPROPEL			
SGR	IGROPETLICO strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi								

N.R. = Numero Repliche
* Le dimensioni indicate si riferiscono all'asse intermedio

RICOPERTURA NEL MESOHABITAT	
ASSENZA DI UNA SPECIFICA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI UNIFORME	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA UN SOTTILE STRATO DI LIMO
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA MUSCHI	IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA ALGHE INCROSTANTI
IL SITO È UNIFORMEMENTE, O QUASI, RICOPERTO DA HYDRURUS	PRESENZA DI ALTRA RICOPERTURA UNIFORME O QUASI SPECIFICARE:

FLUSSE DA CONSIDERARE NEL CAMPIONAMENTO		NOTE ^o
NP	NON PERCETTIBILE	
SM	LISCIO (FLUSSO LAMINARE)	
UP	UPWELLING	
<input checked="" type="checkbox"/> INC	INCRESPATO	
UW	UNBROKEN STANDING WAVES	
BW	BROKEN STANDING WAVES	
CH	CHUTE	
FLUSSE DA EVITARE NEL CAMPIONAMENTO		
<input checked="" type="checkbox"/> CAS	CASCATA <u>STROTTAIA PRINCIPALE, CAENNO EVITATA</u>	
CF	FLUSSO CAOTICO	

OPERATORI: _____

APPENDICE 6: Dati sulle Famiglie di macroinvertebrati raccolti durante i campionamenti. Le tabelle seguenti riportano il numero di individui di ogni famiglia trovati in ogni campionamento, e suddivisi nelle 5 repliche eseguite. Le famiglie sono state riportate secondo ordine alfabetico.

Nel caso dei campionamenti “post-immissione” effettuati il giorno 21/06/2024 (Appendice 6_c e 6_d), sono riportate più famiglie di quelle effettivamente raccolte quel giorno, in quanto vengono segnalate in colore rosso, quelle famiglie che sono state catturate nel campionamento precedente (03/06/2024), e non nel secondo nel medesimo corso d’acqua. Al contrario, presentano colorazione gialla le famiglie di “nuova cattura”, non presenti nel primo campionamento. Sotto ogni tabella è presente la legenda esplicativa riportante il numero di nuove famiglie “Fam. Nuove”, e di famiglie non presenti nel secondo campionamento “Fam. Assenti”.

6a) CU (03/06/2024)

Roggia: CUMANA	Data campionamento: 03/06/2024					
FAMIGLIA	N. Esemplari per REPLICA					TOT.
	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	
Asellidae	0	0	0	0	1	1
Baetidae	6	0	0	8	8	22
Bithyniidae	50	76	114	219	24	483
Caenidae	1	0	0	0	0	1
Calopterygidae	0	0	0	0	3	3
Chironomidae	3	0	3	0	2	8
Elmidae	11	18	41	41	12	123
Ephemerellidae	8	1	0	3	15	27
Ephemeridae	0	1	0	0	0	1
Gammaridae	27	20	63	95	310	515
Goeridae	5	0	7	19	1	32
Hydracarina	2	0	0	0	0	2
Hydropsychidae	6	0	1	10	5	22
Planorbidae	1	0	0	0	0	1
Simuliidae	0	0	0	0	12	12
Sphaeriidae	0	5	0	0	0	5
Unionidae	1	0	1	1	0	3
Valvatidae	1	1	2	0	1	5
TOT. FAM. = 18					TOT	1266

6b) US (03/06/2024)

Roggia: USELINO	Data campionamento: 03/06/2024					
FAMIGLIA	N. Esemplari per REPLICA					TOT.
	US1	US2	US3	US4	US5	
Asellidae	0	3	0	0	0	3
Baetidae	9	32	6	14	29	90
Calopterygidae	0	1	0	0	0	1
Chironomidae	3	32	5	2	3	45
Elmidae	4	0	7	5	4	20
Ephemerellidae	26	24	6	6	23	85
Gammaridae	450	634	89	74	323	1570
Goeridae	1	0	0	1	7	9
Haemopidae	0	1	0	0	0	1
Hydropsychidae	9	3	6	5	11	34
Lumbricidae	1	0	5	1	2	9
Pisidiidae	2	9	0	0	0	11
Simuliidae	13	48	48	0	0	109
TOT. FAM. = 13					TOT	1987

6c) CU (21/06/2024)

Roggia: CUMANA	Data campionamento: 21/06/2024					
FAMIGLIA	N. Esemplari per REPLICA					TOT.
	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	
Asellidae						
Baetidae	0	6	1	1	89	97
Bithyniidae	17	65	26	49	118	275
Caenidae	1	0	0	0	0	1
Calopterygidae						
Ceratopogonidae	2	0	0	1	0	3
Chironomidae	7	1	2	1	6	17
Dugesia	0	1	0	0	0	1
Elmidae	1	3	36	36	2	78
Ephemerellidae	1	2	0	0	2	5
Ephemeridae	1	0	0	0	0	1
Gammaridae	6	10	73	67	39	195
Goeridae	0	1	1	22	0	24
Hydracarina	6	0	3	0	1	10
Hydropsychidae	0	1	6	11	1	19
Limoniidae	0	0	1	0	0	1
Pisidiidae	2	0	0	0	0	2
Planorbidae						
Simuliidae	0	0	0	1	69	70
Sphaeriidae						
Tabanidae	0	1	0	0	0	1
Tubificidae	1	0	0	0	0	1
Unionidae						
Valvatidae						
TOT. FAM. = 18					TOT	801
Rispetto a CU 03/06/24						
Fam. Nuove = 6						
Fam. Assenti = 6						

6a) US (21/06/2024)

Roggia: USELINO	Data campionamento: 21/06/2024					
FAMIGLIA	N. Esemplari per REPLICA					TOT.
	US1	US2	US3	US4	US5	
Asellidae	0	4	0	0	0	4
Baetidae	55	242	36	1	40	374
Bithyniidae	0	1	0	0	0	1
Caenidae	0	5	0	0	0	5
Calopterygidae						
Chironomidae	0	5	0	0	2	7
Dugesia	0	2	1	0	0	3
Elmidae	0	1	10	3	4	18
Ephemerellidae	2	181	17	6	39	245
Gammaridae	60	335	444	281	254	1374
Goeridae	1	1	1	1	2	6
Haemopidae						
Hydracarina	0	5	1	0	0	6
Hydropsychidae	0	0	16	7	11	34
Lumbricidae	0	0	1	1	2	4
Pisidiidae						
Simuliidae	1660	49	0	0	1	1710
TOT. FAM. = 14					TOT	3791
Rispetto a US 03/06/24						
Fam. Nuove = 4						
Fam. Assenti = 3						

APPENDICE 7: Dati sulle specie ittiche catturate durante le operazioni di elettropesca. La tabella riflette quella utilizzata sul campo per la raccolta dati, perciò i nomi e le misure delle specie sono ordinati cronologicamente in base a quando sono stati catturati e misurati. Mentre in alto sono presenti i dati relativi alla località, data, lunghezza del tratto campionato e larghezza media dell'alveo.

A destra sono presenti i risultati dei calcoli degli indici di abbondanza di ogni specie (colonna di colore arancione "Ind. Abb."), e della struttura di popolazione (colonna di colore azzurro "Struttura") la quale, invece, è stata definita solo per le specie più abbondanti, di cui fossero stati catturati almeno 5 esemplari.

A fine tabella vengono riportati il numero totale di esemplari e il numero di specie catturate.

7a) CU (03/06/2024)

Roggia: CUMANA				Data: 03/06/2024	
Località: San Pietro in Gu (PD)				Lunghezza tratto campionato: 70 m	
				Larghezza media: 3 m	
Note:					
N.	Specie	Lunghezza (mm)	Note	Ind. Abb.	Str.
1	Alborella	70	6 esemplari femmine con uova	3	1
2	Alborella	60			
3	Alborella	85	Riproduz. al 2° anno giugno - agosto		
4	Alborella	60			
5	Alborella	65			
6	Alborella	65			
7	Alborella	50			
8	Alborella	80			
9	Alborella	70			
10	Alborella	75			
11	Alborella	60			
12	Alborella	70			
13	Ghiozzo Padano	80	7 esemplari femmine con uova	3	1
14	Ghiozzo Padano	70			
15	Ghiozzo Padano	40	Riproduz. al 2° anno maggio - luglio		
16	Ghiozzo Padano	50			
17	Ghiozzo Padano	80			
18	Ghiozzo Padano	70			
19	Ghiozzo Padano	40			

20	Ghiozzo Padano	45					
21	Ghiozzo Padano	40					
22	Ghiozzo Padano	45					
23	Ghiozzo Padano	35					
24	Ghiozzo Padano	40					
25	Ghiozzo Padano	80					
26	Ghiozzo Padano	55					
27	Ghiozzo Padano	65					
28	Ghiozzo Padano	50					
29	Ghiozzo Padano	40					
30	Ghiozzo Padano	30					
31	Gambero rosso della Louisiana	80	Femmina	1			
32	Gambero rosso della Louisiana	100	Femmina				
33	Cavedano	240		2	3		
34	Cavedano	290					
35	Cavedano	350					
36	Cavedano	260					
37	Cavedano	170					
38	Cavedano	170					
39	Cavedano	160					
40	Cavedano	165					
41	Barbo	360		2	1		
42	Barbo	65					
43	Barbo	160					
44	Barbo	170					
45	Barbo	135					
46	Barbo	180					
47	Trota fario	180	(ceppo atlantico)	1			
48	Trota fario	220	(ceppo atlantico)				
49	Rodeo Amaro	40		1			
50	Rodeo Amaro	38					
TOT. = 50		TOT. SPECIE = 7					

7b) US (03/06/2024)

Roggia: USELINO		Data: 03/06/2024			
Località: San Pietro in Gu (PD)		Lunghezza tratto campionato: 80 m			
		Larghezza media: 4,5 m			
Note: forte corrente, e livello dell'acqua un po' più alto del solito.					
N.	Specie	Lunghezza (mm)	Note	Ind. Abb.	Str.
1	Ghiozzo Padano	30	5 esemplari femmine con uova	2	1
2	Ghiozzo Padano	60			
3	Ghiozzo Padano	30	Riproduz. al 2° anno maggio - luglio		
4	Ghiozzo Padano	55			
5	Ghiozzo Padano	60			
6	Ghiozzo Padano	60			
7	Ghiozzo Padano	70			
8	Ghiozzo Padano	60			
9	Ghiozzo Padano	85			
10	Ghiozzo Padano	52			
11	Ghiozzo Padano	70			
12	Ghiozzo Padano	55			
TOT. = 12		TOT. SPECIE = 1			

7c) CU (21/06/2024)

Roggia: CUMANA		Data: 21/06/2024			
Località: San Pietro in Gu (PD)		Lunghezza tratto campionato: 70 m			
		Larghezza media: 3 m			
Note:					
N.	Specie	Lunghezza (mm)	Note	Ind. Abb.	Str.
1	Alborella	67	3 esemplari femmine con uova	2	
2	Alborella	85			
3	Alborella	40			
4	Alborella	80			
5	Ghiozzo Padano	60	8 esemplari femmine con uova	4	1
6	Ghiozzo Padano	40			
7	Ghiozzo Padano	40	Riproduz. al 2° anno maggio - luglio		
8	Ghiozzo Padano	45			
9	Ghiozzo Padano	35			
10	Ghiozzo Padano	30			
11	Ghiozzo Padano	65			
12	Ghiozzo Padano	45			
13	Ghiozzo Padano	62			
14	Ghiozzo Padano	35			
15	Ghiozzo Padano	25			
16	Ghiozzo Padano	35			
17	Ghiozzo Padano	55			
18	Ghiozzo Padano	40			
19	Ghiozzo Padano	45			
20	Ghiozzo Padano	40			
21	Ghiozzo Padano	75			
22	Ghiozzo Padano	35			
23	Ghiozzo Padano	40			
24	Ghiozzo Padano	40			
25	Ghiozzo Padano	43			
26	Ghiozzo Padano	30			
27	Ghiozzo Padano	45			
28	Ghiozzo Padano	47			
29	Ghiozzo Padano	47			
30	Ghiozzo Padano	30			
31	Ghiozzo Padano	30			
32	Ghiozzo Padano	45			
33	Ghiozzo Padano	35			

34	Ghiozzo Padano	37			
35	Ghiozzo Padano	35			
36	Ghiozzo Padano	35			
37	Ghiozzo Padano	35			
38	Ghiozzo Padano	35			
39	Gambero rosso della Louisiana	80	Femmina	1	
40	Cavedano	270		2	3
41	Cavedano	180			
42	Cavedano	175			
43	Cavedano	170			
44	Cavedano	225			
45	Cavedano	220			
46	Rodeo Amaro	40		1	
47	Triotto	80		1	
48	Triotto	55			
49	Lampreda	140		1	
TOT. = 49		TOT. SPECIE = 7			

7a) US (21/06/2024)

Roggia: USELINO		Data: 21/06/2024				
Località: San Pietro in Gu (PD)		Lunghezza tratto campionato: 80 m				
		Larghezza media: 4,5 m				
Note:						
N.	Specie	Lunghezza (mm)	Note	Ind. Abb.	Str.	
1	Ghiozzo Padano	65	6 esemplari femmine con uova Riproduz. al 2° anno maggio - luglio	3	1	
2	Ghiozzo Padano	90				
3	Ghiozzo Padano	60				
4	Ghiozzo Padano	80				
5	Ghiozzo Padano	70				
6	Ghiozzo Padano	60				
7	Ghiozzo Padano	63				
8	Ghiozzo Padano	42				
9	Ghiozzo Padano	77				
10	Ghiozzo Padano	30				
11	Ghiozzo Padano	50				
12	Ghiozzo Padano	60				
13	Ghiozzo Padano	35				
14	Ghiozzo Padano	45				
15	Ghiozzo Padano	60				
16	Ghiozzo Padano	60				
17	Ghiozzo Padano	42				
18	Cavedano	390	Riproduz. 2° - 4° anno maggio - giugno Femmina con uova	2	3	
19	Cavedano	205				
20	Cavedano	230				
21	Cavedano	525				
22	Cavedano	400				
TOT. = 22		TOT. SPECIE = 2				

APPENDICE 8: Foto rappresentative delle diverse specie ittiche catturate durante le operazioni di elettropesca presso le rogge Uselino (US) e Cumana (CU). Ogni foto riporta la data e la roggia in cui è avvenuta la cattura. Le specie sono riportate in ordine alfabetico per nome volgare.

8a) Alborella (*Alburnus arborella*) – CU 21/06/2024:



8b) Barbo (*Barbus plebejus*) – CU 03/06/2024:



8c) Cavedano (*Squalius cephalus*) – US 21/06/2024:



8a) Gambero rosso della Louisiana (*Procambarus clarkii*) – CU 21/06/2024:



8e) Ghiozzo padano (*Padogobius bonelli*) – US 03/06/2024:



8f) Lampreda padana (*Lethenteron zanandreaei*) – CU 21/06/2024:



8g) Rodeo Amaro (*Rhodeus amarus*) – CU 03/06/2024:



8h) Triotto (*Leucis aulata*) – CU 21/06/2024:



8i) Trota fario (*Salmo trutta*) – CU 03/06/2024:



APPENDICE 9: Cavedano (*S. cephalus*) catturato con l'elettrostorditore il giorno 21/06/2024. Si tratta di un esemplare femmina di 525 mm di lunghezza. Il corpo del pesce non risulta snello e slanciato come dovrebbe, in quanto è presumibilmente pieno di uova. Il periodo di riproduzione di questa specie è tra maggio e giugno (Zerunian, 2004).



8. BIBLIOGRAFIA

- ArpaV, Regione Veneto. (2015). *Monitoraggio degli elementi di qualità biologica dei corsi d'acqua del Veneto*. Anno 2013. Relazione tecnica. Padova.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N., & Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E, Plymouth.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4th Edition. Blackwell Publishing.
- Behnke, R.J. (1986). *Brown trout*. Trout 27: 42–47.
- Biggs BJF, Francoeur SN, Huryn AD, Young R, Arbuckle CJ, Townsend CR (2000). *Trophic cascades in streams: effects of nutrient enrichment on autotrophic and consumer benthic communities under two different fish predation regimes*. Can J Fish Aquat Sci 57:1380–1394.
- Brinkgreve, R. B. J., & Kumarswamy, S. (2008). *PAST PAleontological STatistics Version 4.17 Reference Manual*. Technology, 1(November), 720–766.
- Buffagni A., Erba S. (2007). *Intercalibrazione e classificazione di qualità ecologica dei fiumi per la 2000/60/ec (wfd): l'indice STAR_ICMi*. IRSA-CNR Notiziario dei Metodi Analitici 1: 94–100.
- Busatto, T. and Turrin, P. (2022). *Carta ittica Regionale – Relazione finale risultati indagini ittiologiche Acque dolci superficiali*. Bioprogramm s.c. - Aquaprogram s.r.l. 507.
- Cadotte, M. W., Carscadden, K., & Mirotnick, N. (2011). *Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services*. Journal of Applied Ecology, 48(5), 1079-1087.
- Campaioli, S., et al. (1999). *Guida ai Macroinvertebrati del Fiume Po: Chiavi per il riconoscimento di famiglie e generi di insetti acquatici*. Con la collaborazione di Gianmaria Carchini, et al. Milano: Agenzia Interregionale per il fiume Po.
- Campaioli, S., et al. (2002). *Guida ai Macroinvertebrati delle Acque Dolci Italiane: Chiavi di riconoscimento per le famiglie più comuni*. Con la collaborazione di Gianmaria Carchini, et al. Milano: Agenzia Interregionale per il fiume Po.
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Clarke, K.R., & Gorley, R.N. (2015). *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Clarke, K.R., & Warwick, R.M. (2001). *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd Edition. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Covich, A. P., Palmer, M. A., & Crowl, T. A. (1999). *The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems*. Bioscience, 49(2), 119-127. <https://doi.org/10.2307/1313537>

- Datei, C. & Salandin, P. (2004). *Sistemazione dei corsi d'acqua*. CLEUP Editrice.
- Elliott, J.M. (1994). *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Oxford: Oxford University Press. Xi+286 pp.
- Elliott, J.M. & Hurley, M.A. (2000). *Daily energy intake and growth of piscivorous brown trout, Salmo trutta*. *Freshwater Biology* 44: 237–245.
- EN, CEN. (2003) "14011; *Water Quality—Sampling of Fish with Electricity*." European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- European Union, (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* L 327, 22.12.2000, 1 – 72.
- Fenoglio S., Bo T., Bona F., Ridolfi L., Vesipa R., Viaroli P. (2019). *Ecologia Fluviale*. Novara: UTET Università.
- Gibertoni, PP., Jelli, F., Bracchi, P. (1998). *Allevamento, riproduzione e reintroduzione in ambiente naturale di trote fario di ceppo mediterraneo, Salmo (trutta) trutta*, L. *Annali della Facoltà di Medicina Veterinaria - Università degli Studi di Parma*.
- Giller, P.S., & Malmqvist, B. (1998). *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford University Press.
- Gowan, C., Young, M.K., Fausch, K.D. & Riley, S.C. (1994). *Restricted movement in resident stream salmonids: a paradigm lost*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 2626–2637.
- ISPRA. (2014). «*Protocollo di campionamento e analisi dei macroinvertebrati bentonici dei corsi d'acqua guadabili*». Manuali e linee guida 111/2014.
- Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). *Atlantic salmon Salmo salar L., brown trout Salmo trutta L. and Arctic charr Salvelinus alpinus (L.): A review of aspects of their life histories*. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(1), 1–59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Lo Parrino, E., Ficetola, G. F., Manenti, R., & Falaschi, M. (2020). *Thirty years of invasion: The distribution of the invasive crayfish Procambarus clarkii in Italy*. *Biogeographia*, 35, 43–50. <https://doi.org/10.21426/B635047157>
- MacCrimmon, H.R., Marshall, T.L. & Gotos, B.L. (1970). *World distribution of brown trout, Salmo trutta: further observations*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 27: 811–818.
- Mazzoni, D., Gherardi, F., & Ferrarini, P. (2004). *Guida al riconoscimento dei gamberi d'acqua dolce*. 56.
- Meissner, K., & Muotka, T. (2006). *The role of trout in stream food webs: Integrating evidence from field surveys and experiments*. *Journal of Animal Ecology*, 75(2), 421–433. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01063.x>

- Moyle P.B., & Nichols R.D. (1973). *Ecology of some native and introduced fishes of the Sierra Nevada foothills in central California*. Copeia, 3: 478-490.
- Nordwall, F., Na^o slund, I. & Degerman, E. (2001). *Intercohort competition effects on survival, movement, and growth of brown trout (Salmo trutta) in Swedish streams*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58: 298–2308.
- Nyström, P, McIntosh, AR, Winterbourn, MJ. (2003). *Top-down and bottom-up processes in grassland and forested streams*. Oecologia Aug; 136 (4): 596-608. DOI10.1007/s00442-003-1297-1
- Pakkasmaa, S. & Piironen, J. (2001). *Morphological differentiation among local trout (Salmo trutta) populations*. Biological Journal of the Linnean Society 72: 231–239.
- Rodriguez, M.A. (2002). *Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost*. Ecology 83: 1–13.
- Rondinini, C., Battistoni, A., Teofili, C. (2022). *Lista rossa 2022. Lista Rossa IUCN Dei Vertebrati Italiani 2022, Comitato I*.
- Rosenfeld, J. (2000). *Effects of fish predation in erosional and depositional habitats in a temperate stream*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. DOI: 10.1139/cjfas-57-7-1369.
- Sansoni, G. (2005). *Atlante per il Riconoscimento dei Macroinvertebrati dei Corsi d'Acqua Italiani*. Trento: Provincia autonoma di Trento, Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente. Con il contributo del Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale e Dipartimento Risorse Ambientali e Naturali Istituto Agrario di S. Michele. Prefazione di P. F. Ghetti.
- Scalici, M., Chiesa, S., & Gherardi, F. (2009). *"The distribution of the invasive Procambarus clarkii in relation to biotic and abiotic variables in a Mediterranean wetland."* Hydrobiologia, 623(1), 195-206.
- Simon, T.P. (1999). *Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities*.
- Snyder, D.E. (2003). *"Electrofishing and Its Harmful Effects on Fish."* Information and Technology Report USGS/BRD/ITR--2003-0002. U.S. Geological Survey.
- Sollazzo, C., Scanu, G., Aste, F., Pineschi, G., Belli, M., Balzamo, S., Martone, C., Cadoni, F., Bernabei, S., D'Antoni, S. and Tancioni, L., (2007). *Protocollo di campionamento e analisi della fauna ittica dei sistemi lotici*. Metodi biologici acque.
- Turrin, P. & Locatelli, R. (2010). *"Carta ittica, aggiornamento dello stato delle conoscenze sui popolamenti ittici della provincia di Padova"*: 335.
- Turin P., Maio G., Zanetti M., Bilò M.F., Rossi V., Salviati S. (1999): *"Carta Ittica della Provincia di Rovigo"*. Amministrazione Provinciale di Padova, pp. 400 + all.
- Van Damme D., Bogutskaya N., Hoffmann R. (2007). *"The introduction of the European bitterling (Rhodeus amarus) to West and Central Europe"*. Fish and Fisheries, 8(2):79 – 106. DOI:10.1111/j.1467-2679.2007.00239.x

- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., & Cushing, C.E. (1980). *The River Continuum Concept*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(1), 130-137.
- Williams, W.D. & Aladin, N.V. (1991). *The Aral Sea: recent limnological changes and their conservation significance*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 1: 3–23.
- WTW GmbH, W. (2014). *Operating manual - Multi 3320*. 1–106.
- Zerunian, S. (2002). *Condannati all'estinzione? Biodiversità, biologia, conservazione dei pesci d'acqua dolce indigeni in Italia*. Edagricole.
- Zerunian S. (2004). *Pesci delle acque interne d'Italia*. Quaderni di Conservazione della Natura, 20, Min. Ambiente – Istituto Nazionale Fauna Selvatica.

9. SITOGRAFIA

- <https://www.lasorgentesmps.it/>
- https://www.lasorgentesmps.it/wp-content/uploads/2024/01/PD-Roggia_Uselino_tavola1_A3.pdf
- https://www.lasorgentesmps.it/wp-content/uploads/2024/01/PD-Roggia_Cumana_tavola1_A3.pdf
- <https://www.iucn.it/liste-rosse-italiane.php>
- [https://www.iucn.it/scheda.php?id=1245351488#:~:text=L'Anguilla%20Europea%20\(Anguilla%20anguilla,specie%20catadroma%20eurialina%20altamente%20migratoria.](https://www.iucn.it/scheda.php?id=1245351488#:~:text=L'Anguilla%20Europea%20(Anguilla%20anguilla,specie%20catadroma%20eurialina%20altamente%20migratoria.)
- www.WTW.com

10. RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a tutte le persone che hanno contribuito a rendere possibile il raggiungimento di questo traguardo. Prima di tutto, un grazie speciale al mio relatore Prof. Barausse Alberto per avermi offerto l'opportunità di svolgere questo progetto di tesi, così come il lavoro di tesi della laurea triennale, su temi a me molto cari legati alle acque interne e alla loro preziosa biodiversità. La sua fiducia nel mio impegno e la possibilità di approfondire queste tematiche hanno arricchito enormemente il mio percorso formativo e personale. La sua guida è stata preziosa non solo nel mondo accademico, dove ha saputo trasmettermi passione e rigore scientifico, ma anche come mentore al di fuori dell'ambito universitario, grazie ai suoi consigli e all'esempio di integrità professionale che mi ha sempre ispirato.

Ringrazio infinitamente la mia correlatrice Voltolina Aurora per la guida costante, il supporto e i preziosi consigli durante ogni fase del lavoro, dalla programmazione dei campionamenti, alla stesura finale. La sua competenza e disponibilità sono state fondamentali per portare a termine questa tesi, e mi hanno fornito un esempio prezioso di dedizione e passione per la ricerca.

Un sincero ringraziamento va al presidente della società di pescatori sportivi "La Sorgente", Steve Fasolo, la cui passione e dedizione hanno reso possibile la realizzazione di questo progetto sulle rogge. Senza il suo impegno, nulla di tutto questo sarebbe stato attuabile. Lo ringrazio profondamente per la disponibilità e per la visione che ha dell'ambiente fluviale, che promuove nella sua naturalezza, senza alterazioni che possano compromettere l'ecosistema in favore esclusivo dell'attività di pesca. Desidero inoltre estendere i miei ringraziamenti a tutto lo staff di questa società di pescatori sportivi, in particolare a Elio Comin e Gianni Peruzzo che sono stati un supporto essenziale durante le operazioni di elettropesca, sempre attenti alle direttive e con un sorriso che ha reso ogni momento piacevole e collaborativo.

Voglio ringraziare anche tutti i ricercatori e i colleghi studenti che mi hanno affiancato durante i campionamenti, formando un team giovane e dinamico, capace di lavorare con rapidità ed efficienza. È stato un piacere collaborare con loro, perché insieme, giorno dopo giorno, siamo cresciuti professionalmente, acquisendo competenze nuove e sviluppando abilità che nessuno di noi possedeva pienamente all'inizio. Questa esperienza di crescita condivisa ha reso il lavoro sicuramente più arricchente e stimolante.

Raggiungere questo traguardo non sarebbe stato possibile senza il sostegno delle persone che hanno creduto in me lungo ogni fase del percorso. Un pensiero speciale va ai miei genitori, Paola e Bepi, che mi hanno trasmesso fin da piccolo il rispetto e la passione per il mondo naturale, insegnandomi l'importanza di preservarlo e proteggerlo, affinché possa continuare a prosperare. Li ringrazio profondamente per l'affetto e la pazienza con cui mi hanno sempre sostenuto: proprio come con l'ambiente, mi hanno aiutato a crescere, permettendomi di diventare la persona che sono oggi.