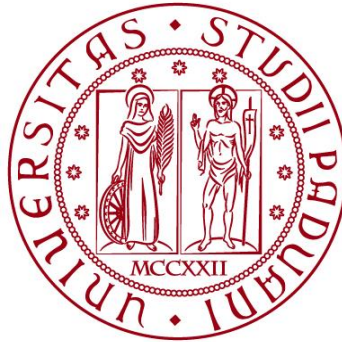


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea magistrale in Biologia Evoluzionistica



TESI DI LAUREA

**CARATTERIZZAZIONE DELLA COMUNITÀ DI
MACROINVERTEBRATI DEI CANALI URBANI DI PADOVA
COME BIOINDICATORI DELLA QUALITÀ AMBIENTALE
DELL'ECOSISTEMA ACQUATICO**

**Relatore: Prof. Alberto Barausse
Dipartimento di Biologia**

**Correlatrice: Dott.ssa Anna Marino
Università di Torino**

Laureanda: Aurora Voltolina

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

A mio padre

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1 Le acque di Padova	1
1.2 I macroinvertebrati	6
1.2.1 L'indice STAR_ICMi.....	7
1.3 Scopo della tesi.....	9
2. MATERIALI E METODI	11
2.1 Le stazioni.....	11
2.1.1 Stazione Tronco Maestro	11
2.1.2 Stazione Santa Chiara	12
2.1.3 Stazione Piovego.....	12
2.2 Campionamento dei macroinvertebrati.....	14
2.2.1 Tipizzazione dei corpi idrici oggetto di studio	15
2.2.2 Rete Surber	16
2.2.3 Valutazioni preliminari.....	17
2.2.4 Procedimento	18
2.3 Smistamento dei campioni e calcolo dell'indice STAR_ICMi	18
2.4 Parametri ambientali	20
2.4.1 Parametri chimico-fisici e microbiologici.....	20
2.4.2 Granulometria.....	23
2.5 Indici di diversità	26
2.6 Analisi statistiche	27
3. RISULTATI.....	29
3.1 Caratterizzazione delle stazioni.....	29
3.1.1 Tronco Maestro	29
3.1.2 Santa Chiara.....	32
3.1.3 Piovego	35
3.2 Confronto tra le stazioni	38
3.2.1 nMDS	39
3.2.2 Le stazioni e l'indice STAR_ICMi	42
3.2.3 L'indice di Shannon	43
3.2.4 Le stazioni e i parametri ambientali.....	44
3.2.5 Correlazione tra macroinvertebrati e parametri ambientali	47

4. DISCUSSIONE	49
5. CONCLUSIONI	53
BIBLIOGRAFIA.....	55
SITOGRAFIA.....	58
APPENDICI	59
RINGRAZIAMENTI	75

1. INTRODUZIONE

1.1 Le acque di Padova

La città di Padova è situata nel bacino idrografico Brenta-Bacchiglione, tra il fiume Brenta a nord e il fiume Bacchiglione che scorre a sud della città. Questi due corsi d'acqua sono connessi tra loro da numerosi canali che creano una complessa rete. Il flusso viene regolato e controllato attraverso sostegni, paratoie e impianti idrovori (Bonollo et al. 2006). Le competenze della rete idrica di Padova sono divise tra diversi enti: la Regione Veneto, tramite il Genio Civile gestisce la rete idrica principale¹, la rete minore è di competenza del Consorzio di Bonifica Bacchiglione, la fognatura bianca² è di competenza del Comune, la fognatura mista è invece competenza di Acegas Aps Amga. Bisogna poi tenere conto dei privati con fossi interni alle loro proprietà (Veronese 2023).

Appena a monte di Padova il fiume Bacchiglione si dirama in due, nella zona che prende il nome di "Bassanello", un ramo va verso est e prende il nome di Scaricatore, mentre l'altro entra in città, verso nord, prende il nome di Tronco Maestro³ e da qui si sviluppa in un intricato reticolo che circonda la città, a tratti affianca le mura storiche e si ramifica fino al centro storico e alle zone più interne della città.

Tra i principali canali vi sono i canali artificiali Canale Scaricatore e San Gregorio, più esterni, che racchiudono la città rispettivamente a sud e a est, mentre a nord troviamo il canale Piovego e a ovest Fossa Bastioni e Tronco Maestro. Da questo si diramano canali più interni quali l'Alicorno, che porta l'acqua all'Isola Memmia di Prato della Valle (Veronese 2023) e il Santa Chiara, che transita per la zona del Convento del Santo e dell'Ospedale Giustiniano per poi proseguire col nome di Canale San Massimo fino a immettersi nel Roncajette Superiore (Figura 1 e Appendice G).

I corsi d'acqua di questo complesso sistema si ricongiungono nella zona est della città da cui escono attraverso due corsi d'acqua: il Piovego che incontrerà il fiume Brenta nel Comune di Noventa Padovana e il Roncajette Inferiore, che sfocerà nel fiume Bacchiglione. Il Bacchiglione si unisce al fiume Brenta poco prima che questo sfoci nel mare Adriatico a sud del Comune di Chioggia (ArpaV 2023).

¹ La rete idrica principale comprende Brenta, Bacchiglione, Scaricatore, Roncajette, San Gregorio, Piovego, Brentella, mentre quella minore è formata da scoli e altri canali (Veronese 2023).

² La fognatura bianca è quella parte di condotte che raccolgono e fanno defluire le acque piovane, mentre la fognatura mista raccoglie sia acque meteoriche che di fognatura (Veronese 2023).

³ Nella letteratura non sembra esserci accordo nel nome da attribuire a questo tratto, ovvero se differenziarlo dal tratto a valle della Specola, denominandolo Tronco Comune o meno.

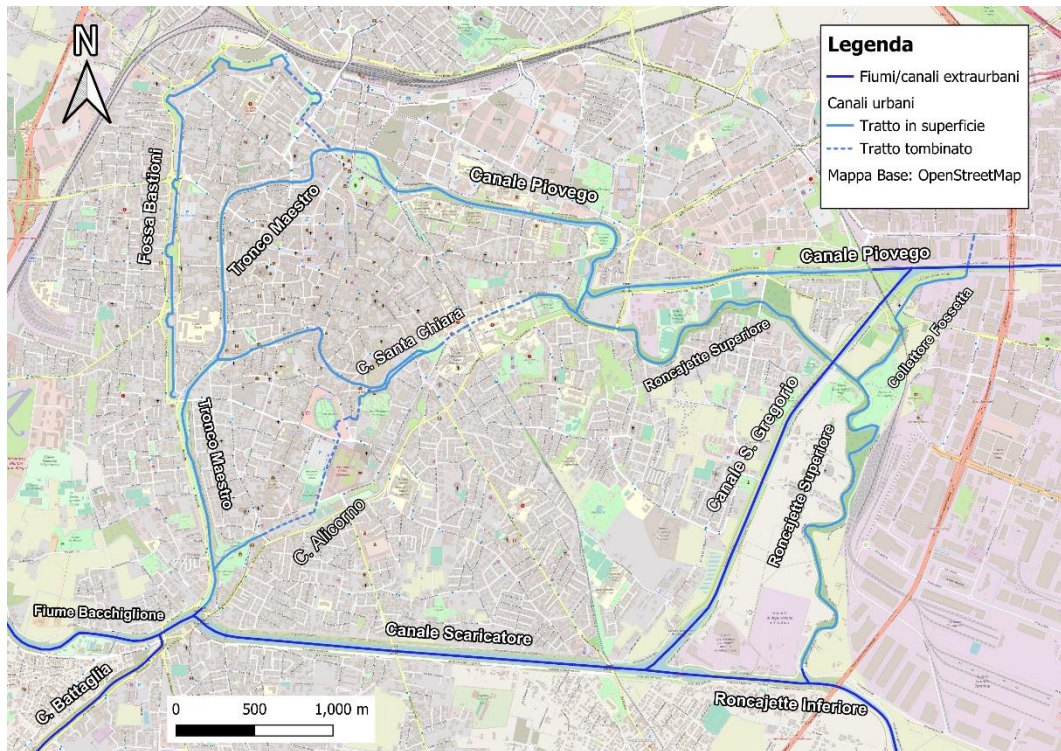


Figura 1: Mappa del reticolo idrografico di Padova. Realizzata da Alex Faccin (2023).

Il sistema fin qui descritto è quello oggi visibile, ma nel tempo è stato fortemente modificato dall'uomo, già a partire dal XI secolo, sia per proteggersi dalle inondazioni sia per l'utilizzo dei fiumi come fonte di cibo, di acqua per l'irrigazione, di energia per i mulini in passato e per energia idroelettrica ancora oggi (Pinato e Ferrari 2010) e come luogo ricreativo ma anche come ricettore delle acque reflue e piovane (Comune di Padova 1997). E, soprattutto, fiumi e canali sono stati ampiamente utilizzati fin dal Medioevo come idrovia che collegava Padova a Venezia (Zecchin 2023) e ad altre importanti città quali Este e Vicenza, permettendole di affermarsi più volte nella storia come "centro produttivo e commerciale" (Padovanet 2020) oltre che culturale con la nascita dell'Università nel 1222 (Università degli Studi di Padova, 2024).

Dunque, fin dalla sua nascita, la città di Padova è stata caratterizzata e plasmata dal sistema di fiumi e canali che la circonda e su cui tutt'ora sorge. Se da un lato un sistema fluviale rappresenta una grande risorsa dall'altro lato può essere soggetto a esondazioni e provocare gravi danni. Infatti, diverse alluvioni si sono verificate nella città di Padova, tra cui quelle del 1823, 1825 e 1827 (Pinato e Ferrari 2010).

In conseguenza di questi eventi, con il piano Fossombroni-Paleocapa (approvato nel 1842) sono stati eseguiti alcuni importanti interventi tra cui la realizzazione del Canale Scaricatore nel 1863 (poi ampliato nel 1932, con il progetto Gasparini) che permette lo scorrimento del flusso principale dell'acqua a sud della città e del Taglio di San Massimo nel 1857, che

collega Roncayette Inferiore, a sud, con il Piovego, a nord (Pinato e Ferrari 2010). Contemporaneamente furono costruiti anche diversi sostegni regolatori che permettevano e permettono di regolare i flussi d'acqua nei diversi canali, impedendo l'entrata in città di una quantità d'acqua troppo elevata. Gli interventi avevano la finalità di costruire un sistema di controllo delle piene e allo stesso tempo di agevolare la navigazione, portandola però esternamente al centro cittadino. Come conseguenza si ebbe l'abbassamento dei livelli dei corsi d'acqua interni alla città, causando problemi alla navigazione interna e al funzionamento dei mulini (Pinato e Ferrari 2010) e riducendo così l'importanza di questi canali.

Questi interventi non furono però sufficienti a impedire le esondazioni e negli anni successivi vi furono eventi di piena consistenti (1860, 1872, 1882, 1905) che portarono all'attuazione di nuove trasformazioni, tra cui quelle del Progetto Gasparini (progetto esecutivo approvato nel 1923) con l'obiettivo di "escludere le piene dai canali interni" ma anche quello di implementare e migliorare la via d'acqua che collegava la città di Padova con Vicenza (Pinato e Ferrari 2010). Il piano Gasparini ha portato, tra le altre cose, alla creazione del Canale San Gregorio (con banchine per i cavalli che agevolavano il passaggio delle navi) nel 1933 e all'allargamento dello Scaricatore (Pinato e Ferrari 2010). I canali esterni alla città assumevano così sempre maggior importanza, mentre quelli interni erano sempre meno vissuti.

A metà del 1900 la città di Padova ebbe un'ulteriore espansione e urbanizzazione, andando verso quella che era percepita come una modernizzazione della struttura urbana. Si decise così di tombinare e interrare numerosi canali interni che non erano più utilizzati per la navigazione, con l'obiettivo di guadagnare spazio da utilizzare per la costruzione di una più sviluppata e ampia rete stradale e di un nuovo complesso ospedaliero, ad esempio ampliando l'Ospedale Giustiniano (Pinato e Ferrari 2010, Comune di Padova 1997), allo stesso tempo tentando di arginare il problema igienico-sanitario che era emerso nel tempo a causa dell'utilizzo dei canali come "ricettore finale" della rete scolante (Comune di Padova 1997). Inoltre, in seguito alla piena del 1951, il sostegno del Ponte dei Cavaj, attraverso cui il Bacchiglione entra in città, fu ristretto (Pinato e Ferrari 2010), impedendo definitivamente l'utilizzo dei canali interni come idrovia (Zecchin 2023).

Come risultato delle varie modifiche alla rete vi è stato un allontanamento della cittadinanza dalla rete fluviale, che non era più vista come una risorsa che forniva acqua, vie di navigazione, energia e ambienti da vivere ma è man mano diventata un luogo di degrado: l'acqua è percepita come sporca, le rive come aree in cui vengono abbandonati rifiuti e luogo di microcriminalità (Zecchin 2023).

Negli ultimi anni però la sensibilità della popolazione per le aree verdi e blu è aumentata e l'esistenza di associazioni che già si occupavano e si prendevano cura di questo territorio, da decenni come gli *Amissi del Piovego*⁴ (Zecchin 2023) e recentemente come la *Cooperativa Sociale Piovego*⁵, ha facilitato questo processo.

Pur essendo inseriti in una zona molto urbanizzata, è possibile osservare come i canali interni costituiscono un ecosistema ricco di biodiversità e formano uno spazio verde e blu che offre servizi ecosistemici (Viaroli 2017) alla cittadinanza e costituisce inoltre un rifugio per gli organismi vegetali e animali che in esso vivono o attraverso cui transitano.

Un monitoraggio della flora presente sulle sponde di un tratto tra il Tronco Maestro e il canale Piovego è stato eseguito da aprile a giugno del 2022, evidenziando la presenza di 135 generi e 68 famiglie, identificando anche due specie alloctone fino a quel momento non segnalate nella Provincia di Padova: *Cyrtomium fortunei* J.Sm e *Viola papilionacea* Pursh (sin. *Viola sororia* Willd.) (Moro et al. 2023).

Uno studio eseguito mediante interviste a pescatori, svoltosi tra settembre e ottobre 2021 e tra marzo e maggio 2022, lungo l'anello fluviale che circonda la città di Padova ha inoltre messo in luce la presenza, secondo i pescatori, di 10 specie ittiche tra cui alcune riportate nella lista rossa dell'IUCN (Unione internazionale di Conservazione della Natura): *Anguilla anguilla*, *Chondrostoma genei*, *Tinca tinca* e *Barbus plebejus*, *Alburnus alburnus alborella* (Comel et al. 2023).

Questi studi sulla biodiversità presente lungo i canali della città mostrano però solo una parte della varietà che si può osservare e non esauriscono la ricchezza naturalistica di questi luoghi.

La città ha però un forte impatto sui canali che la attraversano: uno degli elementi che è stato diffusamente indagato è la presenza delle fognature. Le acque della zona ovest della città confluiscono in parte nel Piovego, in parte nel Tronco Maestro e una parte consistente nella Fossa Bastioni, che possiede anche un sistema di idrovore che all'occorrenza trasferisce parte dell'acqua nel Tronco Maestro (Bonollo et al. 2006; AcegasAps 2011). Le acque cittadine provenienti dalla zona nord si immettono nel canale Fossetta e quindi nel Roncajette Superiore, dove confluiscono anche gli scolli che raccolgono l'acqua dell'area più interna della città (Bonollo et al. 2006). Numerosi manufatti di deviazione immettono anche sul canale Santa Chiara (AcegasAps 2011).

⁴ "Amissi del Piovego": <http://lnx.amissidelpiovego.it/>

⁵ Cooperativa Sociale Piovego: <https://www.facebook.com/CoopPiovego/>

Uno dei punti deboli della rete del “ciclo idrico integrato” (Veronese 2023) di Padova che permette il deflusso delle acque piovane e reflue è che questa è in parte di tipo misto, ovvero in alcune condizioni le acque reflue e meteoriche si mescolano tra loro (Faccin et al. 2023; Bonollo et al. 2006). Quando la rete riceve una quantità di acque maggiore di quanta ne può contenere avviene il passaggio di parte delle acque presenti nei collettori in manufatti di deviazione (Bonollo et al. 2006) e quindi nei canali della città (Faccin et al. 2023).

Dal 2015 il gruppo LASA (Laboratorio Analisi dei Sistemi Ambientali) dell'Università di Padova, assieme successivamente al Dipartimento di Biologia, si occupano di studiare l'impatto della città sulla qualità dell'acqua dei canali interni, con monitoraggi mensili e durante eventi di pioggia di parametri chimico-fisici e microbiologici. I monitoraggi hanno rivelato come la qualità chimico-fisica, chimica e microbiologica dei canali utilizzati come importanti scolmatori (canale Fossetta e Fossa Bastioni) risenta fortemente dell'impatto degli scoli e come l'immissione di Fossa Bastioni nel canale Piovego alteri in modo significativo la qualità di quest'ultimo, non solo in tempo di pioggia. Inoltre, confrontando i dati che sono stati ottenuti a monte e a valle della città è stato registrato un impatto negativo della zona urbana sulla qualità chimica dell'acqua del reticolo idrografico (Faccin et al. 2023).

Significativo è stato l'evento siccitoso dell'estate del 2022 che ha permesso di mettere ancora più in luce le diverse problematiche legate ai canali urbani della città. Durante questo periodo infatti i canali sono rimasti in parte asciutti e si è verificata una grande ed evidente moria dei pesci che vivevano in essi (Faccin et al. 2023), tanto che sono stati necessari interventi straordinari di rimozione delle carcasse, recupero e spostamento degli individui vivi (Cooperativa Sociale Piovego 2022a, Cooperativa Sociale Piovego 2022b, Cooperativa Sociale Piovego 2022c).

La mancanza del flusso d'acqua nel reticolo idrografico della città ha portato a diverse ripercussioni, come il rischio di chiusura dell'impianto di incenerimento rifiuti e il pericolo igienico-sanitario (Zecchin 2023).

A causa della grave situazione è stata riunita una Unità di Crisi (Padovanet 2022) che ha coinvolto il Comune e la Provincia di Padova, il Dipartimento di Prevenzione Ulss, l'ArpaV, il Genio Civile e il Consorzio di Bonifica Bacchiglione, stabilendo le misure necessarie di tutela dei cittadini con l'emanazione dell'Ordinanza Comunale N.12 del 02/08/2023 che ha ristretto l'accesso ai canali interni della città e vietato l'uso delle acque, anche a scopo irriguo, nonché il consumo del pescato (Comune di Padova 2022). Successive ordinanze hanno prolungato alcune delle misure urgenti legate alla siccità, fino a fine agosto del 2023 con l'Ordinanza N. 23 del 30/6/2023 (Comune di Padova 2023).

Il quadro fin qui descritto delinea alcune delle problematiche riscontrate nel complesso sistema di canali di Padova, che risultano essere al contempo un interessante oggetto di studio dal punto di vista ambientale. Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo quello di analizzare l'impatto della città sulle acque superficiali dal punto di vista biologico, in particolare tramite l'utilizzo dei macroinvertebrati acquatici come bioindicatori, supportando tale analisi coi dati fisico-chimici e microbiologici ottenuti in passato e integrandoli coi nuovi dati biologici raccolti.

Il dato biologico infatti oltre ad un'indicazione della qualità dell'ambiente attuale fornisce anche un dato di lungo periodo, in quanto anche fenomeni passati influenzano la comunità presente; ci dà inoltre indicazione di come l'interazione tra le varie perturbazioni dell'ambiente che possono essersi verificate influisca sull'ecosistema nella sua interezza (Fenoglio et al. 2019).

1.2 I Macroinvertebrati

La composizione e l'abbondanza dei macroinvertebrati bentonici sono tra gli elementi biologici previsti dalla Direttiva Quadro sulle Acque dell'Unione Europea (Water Framework Directive, o WFD) per la classificazione dello stato ecologico⁶ dei fiumi (WFD, 2000/60/EC) e dunque per valutare lo stato di qualità dell'ecosistema fluviale.

L'utilizzo delle comunità biologiche come bioindicatrici permette di fornire un dato differente e complementare rispetto a quello restituito da parametri chimico-fisici. Una comunità biologica è infatti l'insieme delle diverse popolazioni che vivono e interagiscono tra loro in un dato habitat e come tali sono fortemente influenzate non solo dalle condizioni dell'ambiente al momento del rilevamento, ma soprattutto dalle condizioni che sono state presenti nel tempo precedente al rilevamento. Di conseguenza il monitoraggio degli elementi biologici dà un'informazione su lungo periodo del sistema, una sorta di "memoria biologica" delle condizioni dell'ambiente; permette di intercettare non solo fattori di alterazione chiaramente visibili ma anche elementi di stress non più presenti o non valutabili direttamente e fornisce un'indicazione complessiva degli effetti sull'ecosistema dei diversi agenti impattanti e della loro combinazione (Fenoglio et al. 2019).

I macroinvertebrati sono un gruppo di taxa eterogenei, appartenenti a diversi generi di invertebrati, che può essere definito come l'insieme degli invertebrati visibili ad occhio nudo, con dimensioni maggiori di 0,5 mm (ISPRA 2014) che è possibile catturare con un retino di 21 maglie per cm.

⁶ "espressione della qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici associati alle acque superficiali" (WFD/2000/60/CE, *Articolo 2*).

Tra i vari taxa possiamo trovare Artropodi, in particolare Insetti e Crostacei, Gasteropodi, Anellidi e altri. Questi possono essere distinti in base al luogo in cui vivono: prendono il nome di bentonici se si trovano su substrati, neustonici se vivono sulla superficie dell'acqua, nectonici se a vita libera. Rispetto ad altri gruppi animali vengono largamente utilizzati come bioindicatori per alcune caratteristiche: sono organismi ampiamente diffusi, per lo più sedentari, con un ciclo vitale solitamente non inferiore ad un anno, la loro tassonomia e le caratteristiche ecologiche sono ben conosciute ed essendo un insieme molto diversificato comprende gruppi con ruoli funzionali differenti e diverse sensibilità ai fattori ambientali e di stress, permettendo di ottenere un'informazione di tipo sistemico. A livello operativo sono facili da catturare, da trattare e non necessitando di procedure e strumenti particolarmente costosi o complessi (Fenoglio et al. 2019).

1.2.1 L'indice STAR_ICMi

Per valutare la qualità ecologica di un corpo idrico viene utilizzato l'indice STAR_ICMi (STAR Intercalibration Common Metrix Index), sviluppato all'interno del progetto STAR (Standardisation of river classifications: Framework method for calibrating different biological survey results against ecological quality classifications to be developed for the Water Framework Directive), ideato secondo le indicazioni della Direttiva Quadro (Buffagni e Erba 2007a; ArpaV e Regione Veneto 2015). Questo è un indice quantitativo multimetrico che si ottiene partendo dalle abbondanze delle Famiglie rilevate durante i campionamenti, da cui si calcolano sei metriche che tengono conto della sensibilità alle condizioni ambientali dei taxa e della loro diversità. Le metriche vengono poi ponderate e normalizzate sulla base di precedenti studi su siti di riferimento, come stabilito dalla WFD (Fenoglio et al. 2019). Le metriche calcolate vengono convertite in Rapporto di Qualità Ecologica (RQE), dividendole per la media ponderata delle metriche dei siti di riferimento, utilizzando i pesi riportati in Tabella 1 (IRSA-CNR 2008; Fenoglio et al. 2019). Il valore così ottenuto viene poi normalizzato dividendolo per il valore dell'indice STAR_ICMi alle condizioni di riferimento. L'indice STAR_ICMi assume valori tra 0 e 1, dove valori prossimi a 1 indicano una qualità elevata mentre valori prossimi allo zero indicano un cattivo stato delle acque (Fenoglio et al. 2019).

Le sei metriche sono:

- Average Score per Taxon (ASPT): tramite la sensibilità di alcuni taxa e il numero di famiglie totali dà un'indicazione dell'inquinamento organico (Fenoglio et al. 2019). Poiché generalmente questa metrica non raggiunge valori inferiori a 2, prima della conversione in RQE le viene sottratto il valore 2 (IRSA-CNR 2008)

- Log10 (sel_EPTD+1): EPTD è l'abbondanza di Hepageniidae, Ephemeriidae, Leptophlebiidae, Brachycentridae, Goeridae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Odontoceridae, Dolichopodidae, Stratyomidae, Dixidae, Empididae, Athericidae e Neumoridae
- 1-GOLD: viene sottratta ad 1 l'abbondanza relativa di Gasteropoda, Oligochaeta e Diptera
- Numero di famiglie EPT (Efemerotteri, Plecotteri, Tricotteri)
- Numero totale delle famiglie presenti
- Indice di Shannon-Weiner, che misura la diversità tassonomica sulla base del numero di famiglie presenti e dell'abbondanza relativa (Fenoglio et al. 2019).

Tabella 1: Metriche che compongono lo STAR_ICMi e peso loro attribuito nel calcolo. Tratto da Buffagni e Erba (2007a)

Tipo di informazione	Tipo di metrica	Nome della Metrica	Taxa considerati nella metrica	Rif. Bibliografico	Peso
Tolleranza	Indice	ASPT	Intera comunità (livello di famiglia)	e.g. Armitage et al., 1983	0.333
Abbondanza/ Habitat	Abbondanza	Log ₁₀ (Sel_EPTD +1)	Log ₁₀ (somma di Heptageniidae, Ephemeridae, Leptophlebiidae, Brachycentridae, Goeridae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Odontoceridae, Dolichopodidae, Stratyomidae, Dixidae, Empididae, Athericidae e Nemouridae +1)	Buffagni et al., 2004; Buffagni & Erba, 2004	0.266
	Abbondanza	1-GOLD	1 - (Abbondanza relativa di Gastropoda, Oligochaeta e Diptera)	Pinto et al., 2004	0.067
Ricchezza /Diversità	Numero taxa	Numero totale di Famiglie	Somma di tutte le famiglie presenti nel sito	e.g. Ofenböck et al., 2004	0.167
	Numero taxa	Numero di Famiglie di EPT	Somma delle famiglie di Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera	e.g. Ofenböck et al., 2004; Böhmer et al., 2004.	0.083
	Indice Diversità	Indice di diversità di Shannon-Wiener	$D_{S-W} = -\sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{A}\right) \cdot \ln\left(\frac{n_i}{A}\right)$	e.g. Hering et al., 2004; Böhmer et al., 2004.	0.083

Per poter calcolare l'indice è necessario individuare l'idroecoregione (HER) di riferimento e la tipologia di corso d'acqua al quale appartiene il sito di studio secondo la normativa vigente, in modo tale da poter poi confrontare i dati ottenuti con i siti di riferimento appropriati. La regionalizzazione, stabilita dal D.M. 131/2008, si basa sulla localizzazione geografica e su descrittori morfometrici, climatici e geologici (Tabelle 2 e 3) (D.M.131/2008, *Allegato 1*). La tipologia viene assegnata a livello nazionale in base ad alcune caratteristiche fisico-geologiche, secondo il D.M. 131/2008 (Tabella 4) (ArpaV e Regione Veneto 2015).

Tabella 2: Idoecoregioni. Tratto dal D.M. 131/2008, Allegato 1.

Idroecoregioni	
Cod_	Denominazione
1	Alpi Occidentali
2	Prealpi_Dolomiti
3	Alpi Centro-Orientali
4	Alpi Meridionali
5	Monferrato
6	Pianura Padana
7	Carso
8	Appennino Piemontese
9	Alpi Mediterranee
10	Appennino Settentrionale
11	Toscana
12	Costa Adriatica
13	Appennino Centrale
14	Roma_Viterbese
15	Basso Lazio
14	Vesuvio
16	Basilicata_Tavoliere
17	Puglia_Carsica
18	Appennino Meridionale
19	Calabria_Nebrodi
20	Sicilia
21	Sardegna

Tabella 3: Descrittori utilizzati per il livello 1 (regionalizzazione) del processo di tipizzazione. Tratto dal D.M. 131/2008, Allegato 1.

Classi di descrittori	descrittori
Localizzazione geografica	Altitudine, Latitudine, Longitudine
Descrittori morfometrici	Pendenza media del corpo idrico
Descrittori climatici	<ul style="list-style-type: none"> ○ Precipitazioni ○ Temperatura dell'aria
Descrittori geologici	Composizione geologica del substrato

Tabella 4: Schema della codifica delle tipologie fluviali. Tratto da: ArpaV e Regione Veneto (2015)

IDRO ECOREGIONI (HER)		ORIGINE	DISTANZA SORGENTE	INFLUENZA BACINO MONTE	
01-20 (*)	PERENNI	SS Scorrimento Superficiale	1 < 5 km	T Nulla o trascurabile	
		GL Grandi Laghi	2 5-25 km	D Debole	
		SR Sorgenti	3 25-75 km	F Forte	
		AS Acque Sotterranee	4 75-150 km	N Non applicabile	
		GH Ghiacciai	5 >150 km		
			6 <10 km		
	TEMPORANEI	PERSISTENZA		MORFOLOGIA ALVEO	
		IN Intermittenti	7	Meandriforme, sinuoso o confinato	
		EP Episodici	8	Semiconfinato, transizionale. Canali intrecciati fortemente anastomizzato	

(*) Il Veneto ricade in tre delle venti idro-ecoregioni previste per l'Italia: 03 Alpi Centro-Orientali, 02 Prealpi Dolomiti, 06 Pianura Padana

1.3 Scopo della tesi

Questo lavoro di tesi si propone di caratterizzare la comunità di macroinvertebrati dei canali di Padova, per poter valutare la qualità delle loro acque e dell'ecosistema e in particolare l'impatto su di essi degli scarichi urbani e di altri fattori di stress di origine antropica, facendo riferimento alla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE dell'Unione Europea.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Le stazioni

I campionamenti sono stati effettuati su tre stazioni, a cui è stato assegnato il nome del canale corrispondente: Tronco Maestro (d'ora in poi tale stazione sarà indicata con la sigla T), Santa Chiara (SC), Piovego (P).

Le stazioni sono state scelte in modo tale da poter dare un quadro generale della qualità delle acque superficiali della città e allo stesso tempo poter valutare l'impatto della città sull'ecosistema fluviale, tenendo conto in particolare della zona del centro storico e dell'apporto di importanti scoli quali quelli che immettono in Fossa Bastioni.

Tenendo conto di questi obiettivi sono state valutate una decina di stazioni, tramite sopralluoghi, per poter definire quali fossero le più idonee. Si è cercato di selezionare le zone con una maggiore area guadabile, che doveva essere ragionevolmente estesa e di individuare aree che fossero più possibilmente rappresentative del tratto fluviale (ovvero del canale stesso), ad esempio escludendo situazioni particolari quali ponti, moli, strutture in cemento o golene. Sono state poi valutate le condizioni sanitarie e di sicurezza degli operatori, considerando che questi dovevano poter scendere in alveo e percorrerlo in modo sufficientemente agevole e con l'attrezzatura necessaria. Il numero delle stazioni è stato dimensionato sulla base delle tempistiche e delle risorse a disposizione, mentre la grandezza dell'area di campionamento è stata scelta in modo da essere rappresentativa del tratto fluviale e in base alla larghezza del corpo idrico, tenendo conto delle indicazioni fornite dall'ISPRA (ISPRA 2014; Buffagni et al. 2007)

A seguito delle valutazioni sono state identificate tre stazioni: Tronco Maestro, Santa Chiara e Piovego (Figura 5).

2.1.1 Stazione Tronco Maestro (Figura 2)

La stazione sul canale Tronco Maestro si trova nella zona del Bassanello, circa a 80 m a valle del Ponte dei Cavaj. La lunghezza del transetto è intorno ai 43 m. I campioni sono stati raccolti nell'area guadabile in sinistra idrografica, che corrisponde a circa 1/3 della larghezza del tratto considerato.

Questa stazione permette di valutare l'acqua in entrata dalla città e funge da punto zero per la comparazione tra le stazioni e la valutazione di un eventuale impatto della città sull'ecosistema acquatico.

La riva è caratterizzata dalla presenza di prato, che viene periodicamente sfalcato e da alcuni alberi nella zona ripariale. Al momento del campionamento dei macroinvertebrati l'erba risultava piuttosto alta e in una fascia in riva sinistra era presente un canneto. Sono stati osservati odonati in fase adulta, germani reali con prole e gallinelle d'acqua. Il flusso dell'acqua è apparso piuttosto uniforme all'interno del transetto e la corrente risulta di tipo increspato (rippled, RP). L'alveo al momento del campionamento era ricco di macrofite e il substrato appariva di tipo limoso-argilloso, con alcune zone sulla riva caratterizzate da sassi di maggiori dimensioni.

2.1.2 Stazione Santa Chiara (Figura 3)

L'area di campionamento sul canale Santa Chiara è situata a valle del ponte carrabile all'interno del Convento del Santo (Vicolo Santorini, 14), la lunghezza del transetto è di circa 16 m.

La stazione permette di valutare lo stato del corpo fluviale dopo che questo ha attraversato il centro storico e ricevuto gli scarichi presenti in esso. La stazione è situata prima dell'unione con l'Alicorno e della zona interrata.

Gli argini del transetto sono caratterizzati da prato e da alcuni cespugli e alberi che vengono costantemente curati dai frati del Convento. Sono stati osservati esemplari di odonati adulti e germani reali. Al momento del campionamento, sull'alveo del transetto, interamente guadabile, vi era un'estesa copertura di macrofite sommerse e il substrato è risultato sabbioso ma con una grande quantità di ciottoli e gusci di bivalvi. Il flusso dell'acqua all'interno del transetto è apparso di tipo increspato (rippled, RP).

2.1.3 Stazione Piovego (Figura 4)

La stazione sul canale Piovego si trova a circa 120-130 m a monte di Ponte Ariosto, con lunghezza del transetto di circa 56 m. I campioni sono stati raccolti nell'area guadabile in destra idrografica, che corrispondeva a circa poco più di 1/5 della larghezza dell'alveo.

La stazione permette di valutare la qualità delle acque del Piovego dopo che questo ha ricevuto la maggior parte degli scarichi cittadini, compresi indirettamente quelli che riversano in Fossa Bastioni. Inoltre, trovandosi vicino all'uscita dalla zona centrale di Padova permette un confronto con l'acqua in entrata per individuare l'eventuale impatto della città sulle acque e dare una valutazione di come la città restituisce le acque ai luoghi a valle. La riva è caratterizzata da prato, che viene periodicamente sfalcato; nel momento del campionamento l'erba risultava piuttosto alta. In riva destra è presente un unico albero all'interno del transetto mentre in riva sinistra ve ne sono numerosi. L'alveo, al momento del campionamento, era ricco di

differenti macrofite sommerse e la corrente è apparsa di tipo non percettibile (NP). Il substrato risultava particolarmente limoso e argilloso.

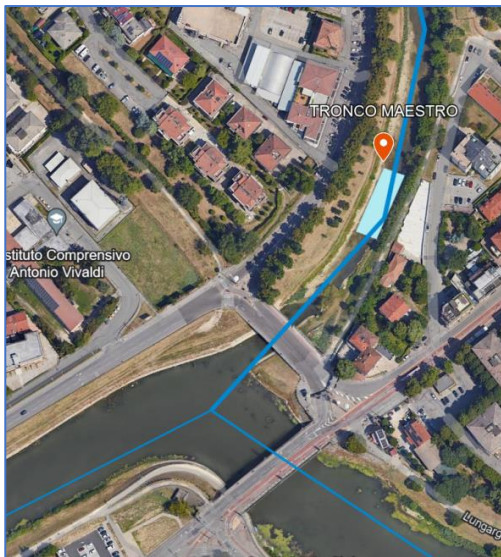


Figura 2: Stazione Tronco Maestro. Il segnaposto in rosso indica il sito di campionamento, mentre l'area in azzurro delimita all'incirca l'area del transetto. Mappa elaborata tramite MyMaps, e acquisita dalla visualizzazione GoogleEarth con data di acquisizione 28/7/2022.



Figura 3: Stazione Santa Chiara. Per legenda e riferimenti si veda Figura 2.

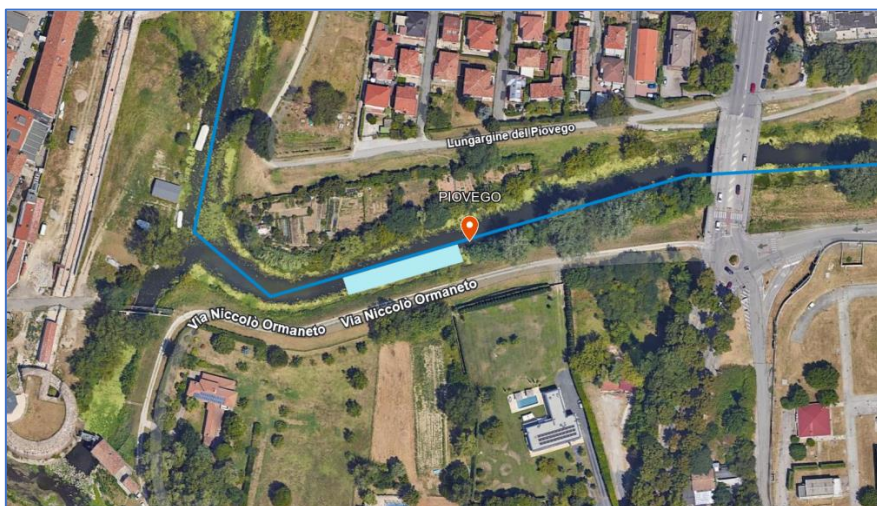


Figura 4: Stazione Piovego. Per legenda e riferimenti si veda Figura 2.

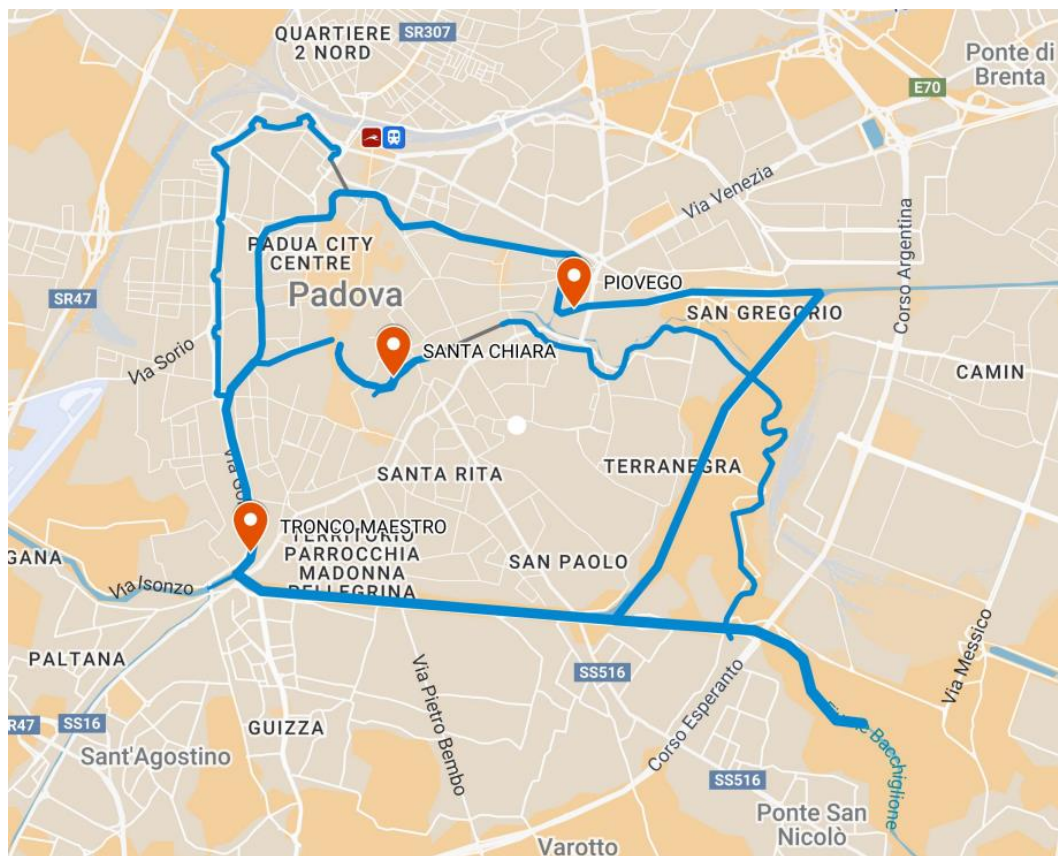


Figura 5: Mappa del reticolo idrografico della città di Padova con stazioni di campionamento dei macroinvertebrati (segnaposto in rosso). Mappa realizzata tramite MyMaps, (dati mappa 2024).

2.2 Campionamento dei macroinvertebrati

Il campionamento dei macroinvertebrati è stato effettuato sulla base delle linee guida redatte dall'ISPRA per i fiumi guadabili⁷, pubblicate nel Manuale "Metodi Biologici per le acque superficiali interne" 111/2014, con un approccio multihabitat proporzionale, in modo tale da poter ottenere un indice di qualità di tipo STAR_ICMi il più accurato possibile.

Il metodo multihabitat proporzionale prevede la raccolta di 10 repliche per ogni stazione, che vengono effettuate sui diversi microhabitat a seconda della presenza percentuale di questi nel sito oggetto di studio. La divisione in microhabitat e la raccolta proporzionale permette di diminuire l'influenza delle caratteristiche locali del punto di raccolta delle singole repliche nel confronto tra i dati osservati nel sito di studio e le informazioni dei siti di riferimento (ISPRA 2014).

⁷ Non tutti i siti considerati sono completamente guadabili, tuttavia è previsto dallo stesso protocollo che il corso d'acqua possa essere considerato guadabile anche quando lo è parzialmente se questa porzione risulta sufficientemente rappresentativa (ISPRA 2014). Altri metodi di campionamento sono stati inoltre giudicati meno attinenti allo scopo del lavoro.

In relazione all'ambiente urbano e alle necessità degli operatori sono state applicate alcune modifiche al protocollo ISPRA, per poter allo stesso tempo caratterizzare la comunità dei macroinvertebrati in modo dettagliato e nelle tempistiche previste. In particolare la metodologia redatta da ISPRA prevede che lo smistamento dei campioni e dunque la classificazione degli individui venga fatta sul campo (ISPRA 2014). In questo progetto di tesi si è deciso di effettuare lo smistamento in laboratorio in quanto permette l'utilizzo di uno stereomicroscopio che agevola la classificazione degli organismi, riducendo l'eventuale errore. Contemporaneamente l'utilizzo dello stereomicroscopio permette di visualizzare il campione in modo più dettagliato e dunque di ottenere una caratterizzazione della comunità più accurata, utile alle analisi previste nel lavoro di tesi.

I campionamenti sono stati eseguiti all'inizio dell'estate, il 22 giugno e il 7 luglio 2023.

2.2.1 Tipizzazione dei corpi idrici oggetto di studio

Il valore dell'indice STAR_ICMi si basa sul confronto con condizioni di riferimento precedentemente stabilite, come da indicazione della Direttiva Quadro Acque (WFD, 2000/60/EC).

Le condizioni di riferimento vengono assegnate ai siti secondo la tipizzazione. I tre siti oggetto di studio sono tutti appartenenti all'idroecoregione 6 (HER6), essendo situati in Pianura Padana, sono tutti corpi idrici a scorrimento superficiale (SS) e l'influenza del bacino a monte è considerabile nulla o trascurabile (T) (Tabella 2) (ArpaV e Regione Veneto 2015). La distanza dalla sorgente è stata invece assegnata differentemente tra la stazione Santa Chiara e le stazioni Tronco Maestro e Piovego, come spiegato in seguito.

La tipizzazione esatta è stata gentilmente confermata dal personale del laboratorio di Padova dell'Agenzia regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV). Dei tre corpi idrici presi in esame due erano già inseriti nel sistema di tipizzazione in quanto monitorati da ArpaV, mentre per il canale Santa Chiara è stato fornito un codice di tipizzazione simulato, ovvero non ufficiale. I tre codici di tipizzazione sono dunque:

- Tronco Maestro: 06SS3T. Codice corpo idrico: 304_10 - canale Tronco Maestro di Bacchiglione-Piovego.
- Santa Chiara: 06SS2T. Corso d'acqua canale San Massimo e Santa Chiara non appartenente al reticolo idrografico di interesse per la direttiva 2000/60/CE (codice tipizzazione simulato).
- Piovego: 06SS3T. Codice corpo idrico: 304_10 - canale Tronco Maestro di Bacchiglione-Piovego.

Si nota come il sito Santa Chiara sia stato inserito nella fascia dei corpi idrici che distano dalla sorgente tra i 5 e i 25 km, mentre gli altri corpi idrici rientrano nel gruppo di distanza tra i 25 e i 75 km dalla sorgente (Tabella 2). Considerando che i canali in questione sono di tipo artificiale e che l'influenza del bacino a monte è trascurabile risulta difficile e poco sensato dal punto di vista ecologico definire la reale distanza dalla sorgente. Più importante risulta invece considerare la larghezza dell'alveo, che influisce sulle dinamiche del flusso e dunque sull'ambiente che si viene a creare e sulla comunità di macroinvertebrati. Se per questi canali artificiali non ha molto senso parlare di lunghezza dalla sorgente, la motivazione pratica della distinzione fatta qui è quindi invece legata principalmente alla larghezza dell'alveo del canale considerato.

La tipologia assegnata determina, oltre ai corretti siti di riferimento per il calcolo dell'indice, la grandezza dello strumento da utilizzare e alcuni aspetti operativi del campionamento.

2.2.2 Rete Surber

La raccolta dei campioni viene effettuata con metodo quantitativo grazie ad una Rete Surber. Questa è composta da un retino, con maglie di dimensione 500 μm , che termina con un bicchiere di raccolta svitabile. La rete è inserita in un'intelaiatura metallica, la quale possiede nella parte frontale una struttura rettangolare che delimita l'area di campionamento rendendo il metodo di tipo quantitativo. Per l'idroecoregione 6 viene utilizzato un retino con apertura di dimensioni 0,22x0,23 m e una superficie di 0.05 m^2 (ISPRA 2014). Poiché il livello dell'acqua lo richiedeva è stata utilizzata una Rete Surber dotata di manico avvitabile (Figura 6).



Figura 6: Surber 0,22x0,23 cm, con manico avvitabile.

2.2.3 Valutazioni preliminari

Al momento del campionamento si è preliminarmente osservato il sito in esame, compilando la scheda di campo e stimando la quantità relativa dei diversi substrati, ovvero microhabitat (Tabella 5), in modo tale da decidere dove prelevare i campioni. Per agevolare questa operazione si è seguito il metodo dei transetti come descritto in Buffagni et al (2007), identificando tre transetti ideali su cui effettuare la quantificazione degli habitat, eseguendo tre repliche per transetto e posizionando la decima replica a seconda della proporzione tra i vari microhabitat (Buffagni et al. 2007).

Oltre al substrato, che ci dà indicazione del microhabitat, è necessario indicare il mesohabitat, definito in base alla turbolenza del flusso d'acqua nelle categorie: riffle, pool o generico nel caso le prime due non siano distinguibili. Quest'ultimo risulta essere il nostro caso, come anche da indicazione per i fiumi di pianura (ISPRA 2014; Buffagni et al. 2007)

Tabella 5: Principali microhabitat dei fiumi italiani. Tratto da Buffagni et al. 2007.

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 perfitici
	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>Leptomitius</i>), solfobatteri (e.g. <i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i>)	

2.2.4 Procedimento

Ogni replica è stata prelevata posizionando la Rete Surber controcorrente, perpendicolarmente al substrato e smuovendo il terreno nell'area delimitata dallo strumento. Nella maggior parte dei casi il livello dell'acqua era maggiore di mezzo metro, per cui per questa operazione venivano utilizzati i piedi. Il retino veniva poi sollevato, le eventuali macrofite presenti venivano scosse vigorosamente e le pietre di grosse dimensioni sfregate con le mani all'interno del retino, in modo tale da raccogliere tutti gli individui presenti nell'area delimitata.

Tutte le repliche così raccolte sono risultate ricche di detriti fogliari, legnosi, particolato fine che avrebbe reso difficile la gestione del campione e allungato i tempi di smistamento. Si è quindi deciso di utilizzare in campo un sistema di doppi setacci per separare il materiale grossolano: uno a maglie grandi (2 mm) e uno a maglie sottili (400 µm) per la raccolta dei macroinvertebrati. Il materiale grossolano veniva poi attentamente ispezionato prima di eliminarlo, per verificare l'eventuale presenza di macroinvertebrati di maggiori dimensioni.

La replica veniva quindi raccolta in un barattolo apposito aggiungendo alcool al 95% per permetterne la conservazione. In alcuni casi le repliche sono state unite a due o tre per agevolare le operazioni, ma mantenendo un minimo di quattro barattoli (che da ora in poi verranno chiamati campioni per chiarezza di esposizione) per stazione in modo da avere delle repliche separate da utilizzare nelle successive analisi statistiche (Appendice A). I campioni sono stati quindi portati in laboratorio dove nei mesi successivi sono stati smistati.

2.3 Smistamento dei campioni e calcolo dell'indice STAR_ICMi

In laboratorio ogni campione è stato smistato lavorando su un'aliquota alla volta prelevata tramite un cucchiaino. Questa è stata quindi setacciata ulteriormente tramite setaccio con maglie di 400 µm per eliminare il particolato fine rimasto.

Ogni aliquota veniva posta in una piastra Petri e analizzata allo stereomicroscopio con l'ausilio di alcune pinzette (Figure 7 e 8) per il riconoscimento degli individui, che venivano divisi per taxa, annotati e riposti separatamente in alcol 95% all'interno di provette eppendorf appositamente etichettate.

La classificazione è stata fatta con l'ausilio di apposite chiavi dicotomiche: Campaioli et al. 1994, Campaioli et al. 1999, Sansoni 2001.



Figura 7: Postazione di lavoro.



Figura 8: Smistamento dei campioni.

Alcuni individui di classificazione dubbia sono stati portati nel laboratorio in sede a Padova dell'Agenzia regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto per un'ulteriore verifica.

I dati delle famiglie individuate e della loro abbondanza sono stati utilizzati per calcolare l'indice STAR_ICMi presso il laboratorio ArpaV della sede di Padova, con l'ausilio del software MacrOper.ICM che, una volta inseriti l'appropriata regionalizzazione e tipo fluviale, restituisce direttamente oltre al calcolo delle metriche e dell'indice anche la Classe dello Stato Ecologico (Tabella 6) (IRSA-CNR 2008). Per ogni classe è stato inoltre assegnato un colore per le rappresentazioni grafiche (Tabella 7).

Alcuni individui i cui elementi necessari per la classificazione non erano visibili in quanto non sufficientemente sviluppati o rovinati sono stati etichettati come non classificabili (n.c.) e non sono stati considerati nelle analisi statistiche e nel calcolo dello STAR_ICMi.

Tabella 6: Limiti di classe per l'HER6, assegnata al Gruppo di Intercalibrazione Geografico (GIG) Centrale/Baltico (IRSA-CNR 2008).

Elevato/Buono	Buono/Moderato	Moderato/Scarso	Scarso/Cattivo
0,960	0,720	0,480	0,24

Tabella 7: STAR_ICMi, giudizio di qualità e colore di riferimento (Fenoglio et al. 2019).

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

2.4 Parametri ambientali

A integrazione e sostegno dei dati di biocenosi sono stati affiancati alcuni parametri che potessero descrivere l'ecosistema e caratterizzare l'ambiente fluviale in cui vivono le comunità di macroinvertebrati campionati.

2.4.1 Parametri chimico-fisici

Tra gli elementi chimici e chimico-fisici a sostegno di quelli biologici nello studio della qualità dei fiumi individuati dalla direttiva WFD vi sono: temperatura, ossigeno, salinità, acidificazione, nutrienti (Il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea 2000).

Il Laboratorio di Analisi dei Sistemi Ambientali (LASA) del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova e il Dipartimento di Biologia della stessa Università dal 2015 monitorano parametri dell'acqua nella città di Padova per studiare l'effetto degli scarichi sulla qualità dell'acqua e dal 2022 eseguono monitoraggi regolari sia in tempo asciutto che durante eventi piovosi (Faccin et al. 2023).

Nei monitoraggi regolari sono stati misurati in loco tramite una sonda multiparametrica WTW: ossigeno disciolto, temperatura dell'acqua⁸, conducibilità elettrica e pH. Tali campioni puntuali sono stati poi trasportati nel laboratorio LASA di Legnaro dove sono stati determinati: concentrazione di Solidi Sospesi Totali, Torbidità, concentrazione di *Escherichia coli*, Coliformi fecali, azoto ammoniacale, azoto nitroso, azoto nitrico e ioni fosfato (Faccin et al. 2023).

Le stazioni di questi monitoraggi sono distribuite in 12 punti all'interno del reticolo idrografico di Padova (Appendice B). Per questo lavoro di tesi sono stati utilizzati i dati delle tre stazioni più adiacenti ai punti di campionamento dei macroinvertebrati: Tronco Maestro Bastione Alicorno, S. Chiara Pontecorvo, Piovego via Ognissanti (Faccin et al. 2023).

Sono state inoltre posizionate lungo il reticolo fluviale cittadino sonde automatiche (Figura 9) che misurano in continuo ossigeno disciolto e temperatura dell'acqua (miniDOT logger, PME Inc.) e pressione

⁸ Misurata tramite il sensore installato nell'elettrodo di pH, in quanto più sensibile.

(PLOG3020-PA-INT-300, Driesen + Kern GmbH), la quale permette di ricavare il livello dell'acqua correggendo il dato per la pressione atmosferica misurate tramite un barometro.



Figura 9: Barometro, sulla sinistra e miniDOT Logger a destra.

Le sonde automatiche sono posizionate in tre punti:

- sul Tronco Maestro, presso l'ex Madonna di Lourdes;
- sul Piovego, all'altezza del Parco Fistomba;
- sul Santa Chiara, all'interno del Convento del Santo.

Le tre postazioni risultano molto vicine alle stazioni di campionamento dei macroinvertebrati. Si è dunque deciso di utilizzare alcuni dei dati chimico-fisici raccolti per integrare le informazioni di biocenosi e caratterizzare in modo più accurato l'ecosistema delle stazioni in esame. In particolare, sono stati analizzati: temperatura, ossigeno disciolto, concentrazione di azoto in termini di nitrati, nitriti e ammonio, e concentrazioni di *Escherichia coli* e Coliformi fecali.

La quantità di ossigeno disciolto in un fiume, oltre ad essere legata alla solubilità che è inversamente proporzionale a temperatura e salinità, è influenzata dalla velocità di corrente, dalla turbolenza, dalla portata e dai processi di respirazione e fotosintesi e dunque dalla quantità di vegetazione presente in essi che causano un ciclo giornaliero regolare con aumento di ossigeno durante le ore di luce e diminuzione nei periodi di buio. I numerosi gruppi di macroinvertebrati hanno evoluto differenti adattamenti per l'acquisizione dell'ossigeno (disciolto o atmosferico) compatibilmente con la vita in immersione e possiedono diversa sensibilità ad alte e basse quantità di ossigeno disciolto. Tra i gruppi più tolleranti a variazioni di ossigeno vi sono Chironomidi, Tubificidi e Naididi (Fenoglio et al. 2019).

Dai dati di ossigeno raccolti durante i campionamenti mensili dal gruppo LASA e dal Dipartimento di Biologia è stata ricavata la media del periodo

dal 4/10/2022 al 29/5/2023 (data dell'ultimo campionamento dei parametri fisico-chimici effettuato prima dei campionamenti dei macroinvertebrati). Lo stesso procedimento è stato applicato sui dati microbiologici e di temperatura⁹.

I batteri coliformi vengono utilizzati come indicatori della presenza di organismi patogeni nelle acque reflue. I coliformi totali sono ubiquitari nelle acque superficiali, includono anche batteri che non derivano da inquinamento umano o animale e sono anaerobi facoltativi in grado di utilizzare la fermentazione lattica, con rilascio di gas in 48 ore alla temperatura di 35°C. I coliformi fecali sono invece legati alle feci e vengono distinti dai coliformi totali in quanto fermentano il lattosio con produzione di gas in 24 ore alla temperatura di 44,5°C. Spesso si sceglie di utilizzare come indicatori della presenza di organismi patogeni i soli *E. coli* che appartengono a questo ultimo gruppo (Kadlec e Knight 1996). Si è deciso di includere i dati microbiologici raccolti nelle analisi statistiche di correlazione con i macroinvertebrati per osservare se vi fossero relazioni statisticamente significative e visibili tra questi e le diverse stazioni, in quanto da campionamenti e studi precedenti è emerso che la qualità sia microbiologica che fisico-chimica dei canali su cui vi sono o scaricano i colmatori della rete fognaria sia peggiore di quella dei principali rami cittadini all'ingresso della città (Faccin et al. 2023).

Si è scelto di considerare i dati a partire dai campionamenti effettuati nel periodo autunnale in quanto è in questo periodo che vi è il maggior apporto di sostanza organica nei fiumi, grazie in particolare alla caduta delle foglie e avviene la massima crescita stagionale della ricchezza biologica dei fiumi (Fenoglio et al. 2019). Di conseguenza ci si può aspettare che le condizioni ecologiche della stagione tardo autunnale influiscano sullo sviluppo delle comunità di macroinvertebrati anche nei mesi successivi. Tale periodo è inoltre coerente con la durata del ciclo vitale di diversi degli organismi studiati.

Dalle sonde automatiche, che forniscono un dato più preciso (ogni 5 minuti) ma non erano state tutte installate nel periodo autunnale, si è ricavato il minimo di ossigeno disciolto considerando un periodo caldo e antecedente al campionamento di macroinvertebrati (ovvero dal 14/4/2023 al 25/6/2023). Ci si aspetta infatti che qualora ci siano stati eventi di anossia o periodi in

⁹ Va tenuto conto che i campionamenti sono stati fatti durante le mattine e l'ordine con cui vengono campionate le stazioni è sempre lo stesso, iniziando dal Piovego. Dunque, questo potrebbe influire in particolare sul parametro della temperatura che potrebbe registrare un costante valore leggermente più basso in questa stazione.

cui l'ossigeno disciolto sia stato particolarmente basso, questi abbiano un'influenza sui bioindicatori.

Nitrati e fosfati sono i principali nutrienti inorganici presenti nei fiumi e sono naturalmente influenzati dalla sostanza organica presente e dunque anche dall'altitudine del tratto fluviale: in montagna la quantità di fosfati totali è solitamente minore di 5 µg/l e sale man mano fino ad arrivare a 10-30 µg/l nei tratti medio-bassi; livelli maggiori indicano presenza di fenomeni di eutrofizzazione. L'azoto viene solitamente valutato come ione ammonio (NH_4^+), che quando presente ad alte concentrazioni è indice di scarichi ricchi di sostanza organica, come quelli fognari, e nitrati (NO_3^+) che dà un'indicazione dello stato trofico e quando molto presente può portare ad uno sviluppo ingente degli organismi vegetali (Fenoglio et al. 2019).

Nelle analisi i dati ricavati dai campionamenti mensili tra il 4/10/2022 al 29/5/2023 di concentrazione di ammonio, nitriti e nitrati sono stati sommati per calcolare l'azoto inorganico disciolto o Dissolved Inorganic Nitrogen ($\text{DIN} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^+$), espresso in mg_N/L, e ne è stata ricavata la media del periodo.

2.4.2 Granulometria

La maggior parte dei macroinvertebrati sono bentonici, ovvero vivono associati al substrato e come tali ne sono fortemente influenzati. A seconda del substrato e in particolare delle caratteristiche granulometriche sono tipicamente presenti differenti taxa: si è osservato che substrati più fini e omogenei tendono ad avere gruppi di invertebrati specializzati mentre in substrati più grossolani vi sono comunità tendenzialmente più eterogenee (Fenoglio et al. 2019). La Direttiva Acque indica la "struttura e il substrato dell'alveo" come uno degli elementi utili dal punto di vista morfologico a sostegno dei dati biologici (Il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea 2000).

Per poter caratterizzare meglio le comunità macrobentoniche riscontrate nei canali interni della città, sono stati raccolti campioni di sedimento dei tre siti in esame. I campionamenti sono stati eseguiti nel mese di dicembre, dunque in un periodo successivo al campionamento dei macroinvertebrati. La velocità di scorrimento del flusso in loco è piuttosto bassa considerando che non sono presenti particolari pendenze e che il flusso e l'altezza dell'acqua è costantemente controllata da un sistema di paratoie, che isolano i canali cittadini dalle piene che interessano i tratti a monte. Viste queste caratteristiche si è assunto che tra luglio e dicembre la granulometria non abbia subito un sostanziale cambiamento. Per la raccolta dei campioni è stata utilizzata una benna immanicata (Figura 10) che grazie al sistema

di chiusura a molle permette la raccolta di campioni di sedimento (Campaioli et al. 1994).

Sono state raccolte:

- 3 repliche separate per la stazione Piovego (P1, P2, P3)
- 3 repliche separate per la stazione Tronco Maestro (T1, T2, T3) e una replica aggiuntiva, in quanto è stata osservata una zona laterale con substrato apparentemente diverso (T+)
- 3 repliche derivanti da campione medio per la stazione Santa Chiara (S1, S2, S3) più una replica aggiuntiva (SC).



Figura 10: : Benna utilizzata per la raccolta del sedimento.

La stazione Santa Chiara presenta un substrato con numerosi gusci di bivalvi e pietre che hanno ostacolato l'uso della benna e ha reso necessario l'unione di più repliche per ricavare un campione rappresentativo del substrato. Una replica aggiuntiva è stata raccolta in un punto più agevole per lo strumento, in cui bivalvi e sassi erano poco presenti, ma meno rappresentativo del canale.

I campioni raccolti sono stati esposti all'aria per permettere la loro asciugatura e poi trasportati al Laboratorio di Analisi del gruppo di ricerca LASA di Legnaro dove i campioni sono stati pretrattati per permettere l'analisi di granulometria.

Per ogni campione da analizzare sono stati trasferiti in un becher di vetro 30 g di campione fresco. Nel caso del campione medio della stazione Santa Chiara, viste le problematiche prima descritte, per poter fare una valutazione più accurata del substrato, prima del prelievo per l'analisi granulometrica si è proceduto a separare manualmente la parte di sedimento composta da gusci e sassi. Questa frazione è stata pesata separatamente risultando di 193 g sui 521 g totali (Figura 11).



Figura 11: Campione di substrato del sito Santa Chiara.

Tutti gli 11 campioni così ottenuti sono stati posti in stufa a 60°C per circa 36h e nuovamente pesati. Ad ogni campione sono stati quindi aggiunti 300 ml di 35% H_2O_2 che ha agito per circa 48h, dopo le quali la reazione è stata

interrotta dall'aggiunta di alcuni millilitri di acqua deionizzata¹⁰. Sono stati dunque addizionati 10 ml di una soluzione di esametafosfato di sodio (NaHMP) con funzione dispersante, agitato per 15 minuti e lasciato il campione riposare per 4-5h circa. Per ridurre la perdita di materiale le pareti dei contenitori sono state grattate con una spatola e lavate con circa 10-15 ml di acqua deionizzata. I campioni sono stati quindi posti in stufa a 62°C fino a completa seccatura.

Una volta seccati, i campioni sono stati pesati (vedi appendice) e tramite una spatola il sedimento è stato grattato via dai becher di vetro e posti in nuovi contenitori per essere trasportati al Laboratorio di Chioggia della Stazione Idrobiologica 'Umberto D'Ancona' del Dipartimento di Biologia. Nel laboratorio i campioni sono stati setacciati per rompere le particelle che si erano aggregate in fiocchi, in modo tale da evitare lo sfalsamento dell'analisi.

La determinazione della granulometria è stata effettuata tramite un analizzatore della dimensione delle particelle che utilizza la diffrazione laser: LS 13 320 XR Laser Diffraction Particle Size Analyzer (BECKMAN COULTER 2022) che, per ogni campione esegue tre corse, in modo tale da ottenere una misura più precisa e di verificare la bontà, dunque la ripetibilità dell'analisi. L'analizzatore, in funzione della tecnica di rilevazione utilizzata, esprime il risultato come distribuzione del volume percentuale.

Questo viene espresso secondo l'unità di misura phi ($\Phi = -\log_2 d(\text{mm})$), dove d è il diametro della particella. La grandezza delle particelle dei sedimenti viene solitamente espressa tramite la scala di Wentworth che divide le particelle in: Blocchi, Ciottoli, Ghiaia e Sabbia (a loro volta divise in molto grossa, grossa, media, fine, molto fine), Limo, Argilla e Colloide (Tabella 8) (Magno et al. 2016).

I dati restituiti dall'analisi sono stati quindi raggruppati per range dimensionali ed è stato ricavato il volume percentuale delle diverse classi secondo la scala di Wentworth, per agevolare l'interpretazione dei dati.

¹⁰ Il procedimento fin qui descritto è stato tratto da un precedente studio eseguito su sedimento della laguna di Venezia (Roner et al. 2016).

Tabella 8: Scala Wentworth, scala phi e intervalli dimensionali corrispondenti. Tratto da Magno et al. (2016).

Intervallo dimensionale (metrico)	Phi (Φ)	Scala Wentworth
2–4 mm	da -1 a -2	Ghiaia molto fine
1–2 mm	da 0 a -1	Sabbia molto grossa
0,500–1 mm	da 1 a 0	Sabbia grossa
0,250-0,500 mm	da 2 a 1	Sabbia media
0,125-0,250 mm	da 3 a 2	Sabbia fine
0,063-0,125 mm	da 4 a 3	Sabbia molto fine
0,004-0,063 mm	da 8 a 4	Silt o Limo
< 0,004 mm	> 8	Argilla
< 0,001 mm	>10	Colloide

2.5 Indici di Diversità

Ambienti non alterati dagli impatti umani possiedono generalmente comunità più diversificate, senza una forte predominanza di alcuni gruppi rispetto ad altri; qualora un ecosistema venga sottoposto a stress o alterazioni antropiche i taxa più sensibili tendono a diminuire, diventare rare fino a scomparire in quel dato ecosistema (Fenoglio et al. 2019). Per valutare la diversità di una comunità è possibile utilizzare gli indici di diversità, che tengono conto sia del numero di taxa che della ripartizione numerica degli individui tra di essi; per applicarli è necessario eseguire dei campionamenti di tipo quantitativo. Va tenuto in considerazione però che la diversità può essere bassa anche in ambienti non impattati, ma che hanno caratteristiche naturali che permettono la sopravvivenza e riproduzione solo di pochi taxa adattati alle condizioni particolari (Fenoglio et al. 2019) come ad esempio i tratti fluviali montani poveri di nutrienti, con forti correnti e basse temperature.

Tra gli indici di diversità più utilizzati vi è l'indice di Shannon, che assume valori da 0, quando vi è un unico taxon, a infinito. Valori tra 3 e 4 corrispondono ad un ambiente non inquinato, mentre valori sotto a 1 si trovano generalmente in ambienti degradati (Fenoglio et al. 2019). L'indice di Shannon è definito come:

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

con $p_i = \frac{n_i}{N}$ che corrisponde quindi alla frequenza dell'i-esimo taxon.

2.6 Analisi statistiche

I dati raccolti sono stati elaborati tramite analisi statistiche con l'ausilio del software PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) e il suo pacchetto aggiuntivo PERMANOVA+, che permettono l'esecuzione di analisi multivariate e con il software Microsoft Excel per la produzione di alcuni grafici di supporto, utili all'analisi e alla lettura dei dati.

Inizialmente è stata eseguita un'analisi multidimensionale non metrica (Non metric multidimensional scaling, nMDS) sui dati di abbondanza dei campioni di macroinvertebrati raccolti trasformati tramite logaritmo ($\text{Log}(X+1)$), in modo tale da dare peso anche ai gruppi meno presenti. Questa analisi costruisce una rappresentazione grafica dei campioni sulla base di livelli di similarità individuati da una matrice (Clarke et al. 2014). La matrice è stata generata tramite il coefficiente di similarità di Bray-Curtis¹¹. Per testare poi la significatività delle eventuali differenze fra siti in termine di gruppi formati è stata applicata l'analisi PERMANOVA+, che calcola una statistica *pseudo-F* basata sulle distanze tra le variabili e calcola poi i *p-Value* tramite permutazioni (che sono state fissate a 999) (Anderson et al. 2008). Per questa analisi sono stati utilizzati i tre siti in esame come fattore random¹² e permutazioni "unrestricted" in quanto il numero di campioni non è elevato (Anderson et al. 2008). L'analisi è stata fatta sia tramite "main test" che "pair-wise test".

In seguito, è stata applicata l'analisi SIMPER che restituisce sia un'analisi di *similarità intra-gruppi* (e cioè intra-sito nel nostro caso), mostrando quali sono le famiglie che contribuiscono di più ad essa, sia un'analisi di *dissimilarità inter-gruppi*, che scompone le dissimilarità tra le coppie di siti, mostrando il contributo di ciascuna famiglia (Clarke et al. 2014).

I dati dei bioindicatori sono stati poi correlati ai parametri chimico-fisici e microbiologici tramite analisi BEST che cerca la migliore combinazione di variabili ambientali che insieme formano delle dissimilarità tra i campioni, assimilabili a quelle della matrice di similarità tra i campioni dei dati biologici (Anderson et al. 2008). I parametri ambientali sono stati normalizzati e l'analisi è stata fatta con metodo BIOENV, sulle distanze euclidee e con metodo di correlazione Spearman rank. Il numero di permutazioni è stato fissato a 99.

¹¹ I coefficienti della famiglia Bray-Curtis assumono valori tra 100 (campioni identici) a 0 (campioni senza specie in comune); non cambiano se vengono modificate le unità di misura, non viene modificato nel caso di specie assenti in entrambi i campioni; l'inclusione di un campione C non cambia il valore del coefficiente tra A e B; tiene conto delle abbondanze totali quando quelle relative tra i campioni sono identiche (Clarke et al. 2014).

¹² I siti sono considerati sotto campionamenti random dell'intera popolazione (Anderson et al. 2008) (punti random del reticolo idrografico)

A questa è stata aggiunta l'analisi Distance-based Linear Model (DistLM), con similarità di Bray-Curtis e criterio di selezione AIC (tale criterio identifica dei modelli parsimoniosi, utile quando sono presenti numerose variabili) e procedura di selezione Step-wise. DistLM modella le relazioni tra dei dati multivariati (nel nostro caso l'abbondanza delle Famiglie nelle diverse repliche) espressi tramite matrice di similarità e delle variabili di predizione, identificando il miglior modello lineare basato sulle variabili ambientali. Questa analisi ci restituisce, oltre alla proporzione di diversità spiegata dalle variabili anche i p-Value corrispondenti, ottenuti tramite permutazioni fissate a 999. Il modello risultante è visualizzabile tramite un grafico creato mediante la routine dbRDA (Distance-based Redundancy Analysis) (Anderson et al.2008).

3. RISULTATI

3.1 Caratterizzazione delle stazioni

I macroinvertebrati raccolti sono stati classificati per lo più a livello di Famiglia (Appendici F e G). In alcuni casi si è arrivati al genere, ma nelle analisi statistiche si è deciso di raggruppare gli individui a livello di famiglia per mantenere un'omogeneità nel dato e permettere una sua migliore interpretazione. In alcuni casi è stato fatto un confronto tra i risultati basati sulla divisione in sole famiglie con quelli comprendenti anche l'inclusione dei dati risolti a livello di genere, per osservare se vi fossero differenze.

3.1.1 Tronco Maestro

Le dieci repliche prelevate nella stazione Tronco Maestro sono state raggruppate in 8 campioni.

In questa stazione sono state individuate 21 famiglie di macroinvertebrati. Dai dati possiamo osservare come il gruppo Baetidae sia il più rappresentato, seguito da Chironomidae e Gammaridae. Questi tre gruppi compongono circa il 90% degli individui del campione (Grafico 1).

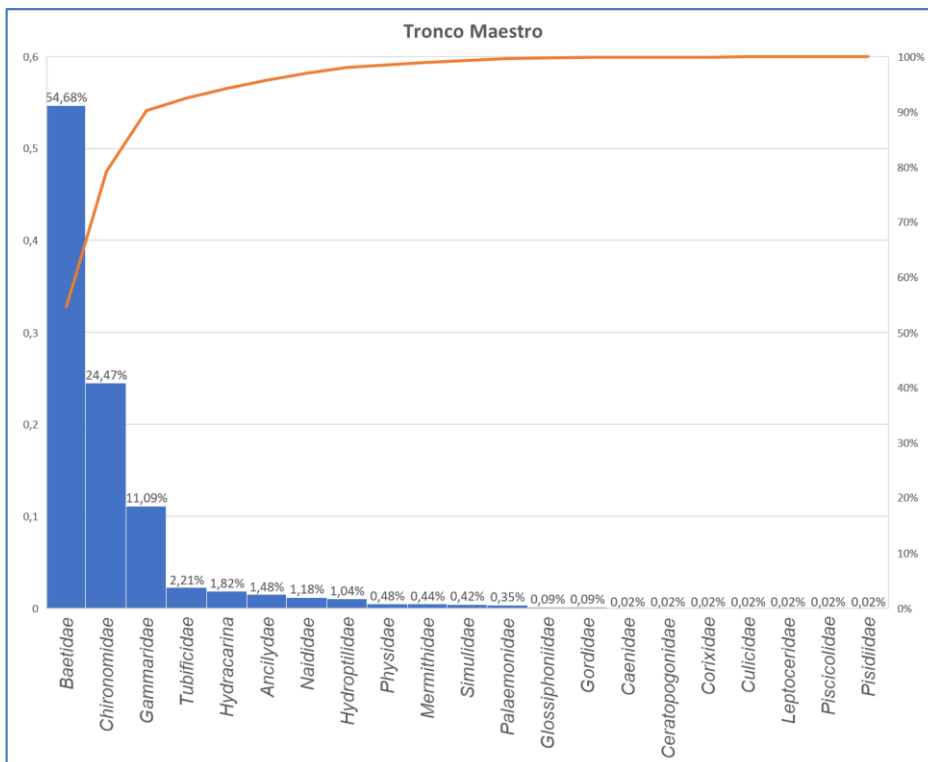


Grafico 1: Famiglie riscontrate nel sito Tronco Maestro e frazione di individui che rappresentano rispetto al totale degli individui del campione. La linea arancione rappresenta l'andamento della percentuale totale cumulativa (asse destro), che restituisce un'indicazione quanto velocemente il campione arriva al suo totale man mano che vengono aggiunte (in questo caso), le famiglie di numerosità via via decrescente.

La granulometria del sedimento del sito Tronco Maestro è stata caratterizzata sulla base di 4 campioni raccolti e analizzati separatamente. Di essi, le repliche T1, T2 e T3 sono state raccolte in punti random, mentre la replica T4 è stata raccolta in un punto più laterale che mostrava visivamente un'apparente differenza rappresentando quindi un potenziale microhabitat diverso. I risultati delle analisi granulometriche sono restituiti come percentuale volumetrica occupata nel campione dalle particelle di una certa dimensione (Grafico 2).

Ponendo a confronto i quattro campioni prelevati dal Tronco Maestro è possibile osservare che questi differiscono tra loro. Tre di questi mostrano un picco del volume percentuale corrispondente alle particelle di grandezza tra i 100 e i 300 μm e uno più basso tra i 10 e i 20 μm . L'analisi mostra che vi è una presenza di sabbia fine e molto fine e di limo. Il quarto campione però differisce dai precedenti in quanto ha un picco maggiore nella percentuale volumetrica occupata dal limo, mentre presenta una minor quantità di particolato sabbioso. Dunque, nel tratto considerato vi è una certa variabilità tra punti diversi nella composizione del sedimento, apprezzabile anche osservando medie e moda dei campioni (Tabella 9). Il campione che sul campo appariva diverso risulta essere molto simile a due delle tre repliche random, la diversità era dunque solo apparente o relativa ad altri elementi non legati alla composizione del sedimento.

Tabella 9: valori di media e moda delle tre corse eseguite per campione dall'analizzatore di particelle dei campioni di sedimento del Tronco Maestro

Campione	Media (μm)	Moda (μm)
T1	67,76	14,05
T2	117,8	230,7
T3	130,2	210,13
T+	102,1	153,8
Media dei campioni	104,465	---

Per poter comprendere meglio il sedimento del sito nel suo complesso e apprezzare il significato delle grandezze del particolato i dati sono stati sommati, trasformati secondo la scala Wentworth e posti in un grafico a torta.

Si può apprezzare come il sedimento del sito sia caratterizzato per un 40% da limo. Consistente è anche il volume occupato dalla sabbia fine e molto fine che insieme raggiungono il 36% del volume. Le particelle di volume maggiore sono meno rappresentate e il volume di sabbia grossa e molto grossa risulta quasi irrisorio (Grafico 3).

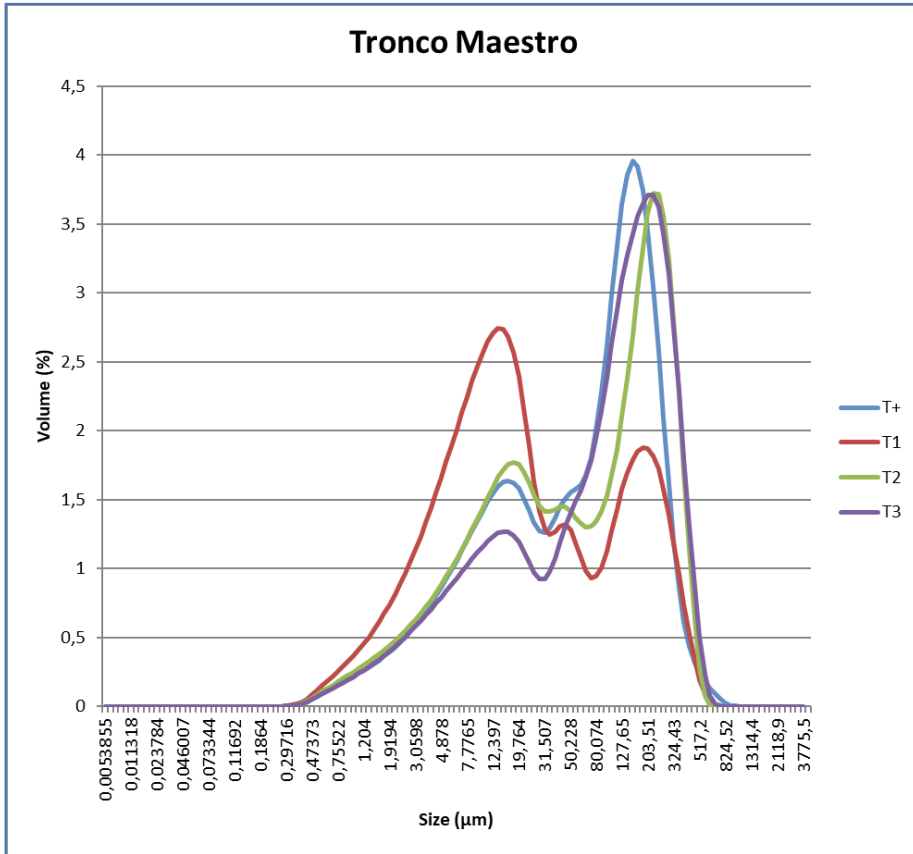


Grafico 2: Risultati dell'analisi granulometrica dei campioni raccolti nel sito Tronco Maestro. Grafico realizzato attraverso il software associato all'analizzatore di dimensione delle particelle (LS 13 320 XR Laser Diffraction Particle Size Analyzer).

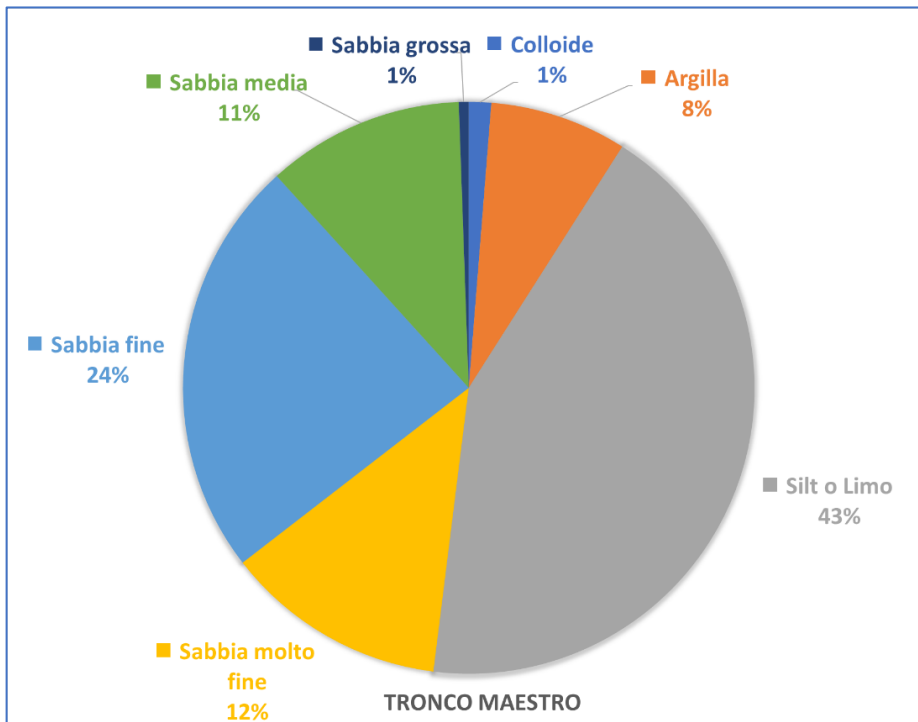


Grafico 3: Percentuali volumetriche medie occupate dalle diverse classi di sedimento secondo la scala Wentworth nei campioni del sito Tronco Maestro.

3.1.2 Santa Chiara

Le dieci repliche raccolte durante il campionamento dei macroinvertebrati sulla stazione Santa Chiara sono state raggruppate in 4 campioni. In questa stazione sono state individuate 21 Famiglie di macroinvertebrati.

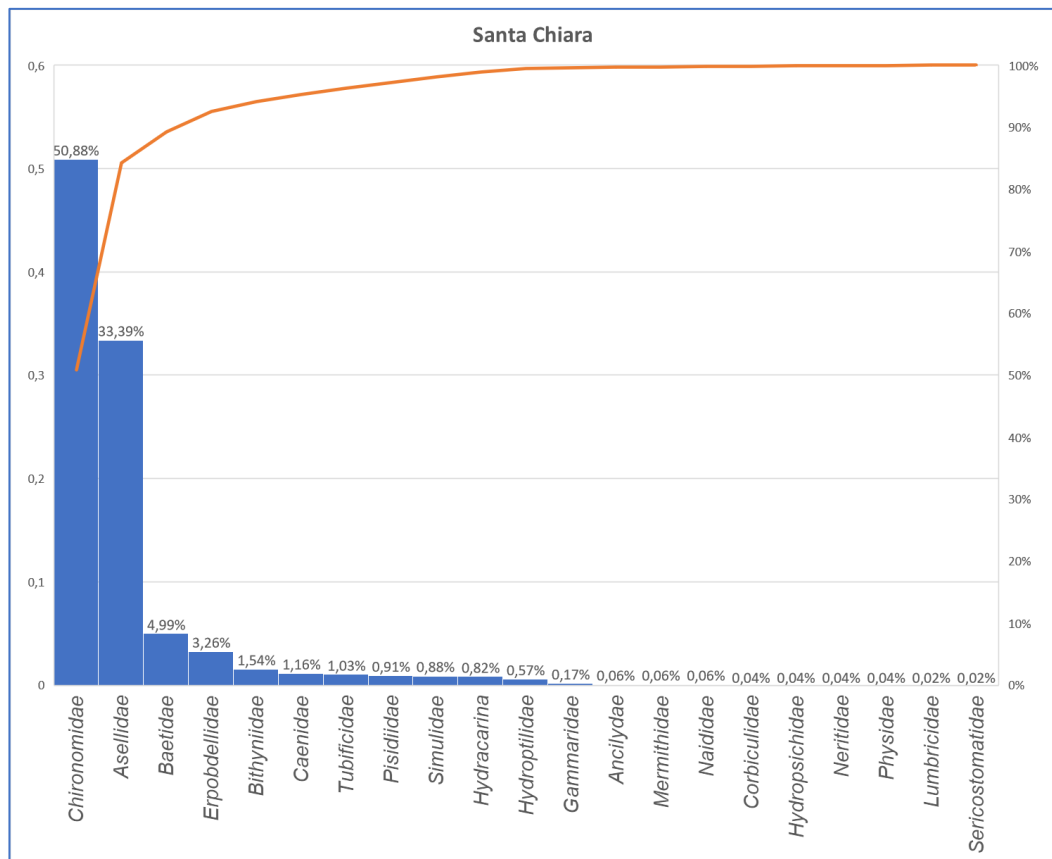


Grafico 4: Famiglie riscontrate nel sito Santa Chiara e frazione di individui che rappresentano rispetto al totale degli individui del campione. La linea arancione rappresenta l'andamento della percentuale totale cumulativa (asse destro).

Chironomidae, Asellidae e Baetidae sono i gruppi maggiormente presenti, rappresentando da soli quasi il 90% del campione, segue la famiglia Erpobdellidae che rappresenta circa il 3,3% del campione (Grafico 4).

L'analisi del sedimento del sito Santa Chiara è stata fatta su tre repliche derivanti da un unico pool medio di tre campioni raccolti in modo casuale (S1, S2, S3) e un'ulteriore campione mantenuto separatamente (per i dettagli si veda materiali e metodi).

L'analizzatore di particelle ci mostra come le quattro analisi risultino molto simili tra loro. Bisogna tenere conto che tre di esse sono repliche di un campione medio e dunque il fatto che siano simili ci indica la bontà del procedimento di analisi ma non dicono nulla riguardo alla diversità o uniformità tra diversi punti del sito. Il campione preso separatamente mostra

un pattern di granulometria molto simile al pool di campioni. I picchi di volume percentuale sono tutti compresi tra i 245 e i 270 μm e l'ampiezza della curva che risulta piuttosto stretta suggerisce che il range di grandezze delle particelle presenti non sia particolarmente ampio (Grafico 5). Moda e media della grandezza di sedimento dei quattro campioni sono presentati in Tabella 10.

Tabella 10: valori di media e moda delle tre corse eseguite per campione dall'analizzatore di particelle dei campioni di sedimento del Santa Chiara

Campione	Media (μm)	Moda (μm)
S1	293,7	269,2
S2	312,6	295,5
S3	315,1	295,5
SC	277,2	245,2
Media dei campioni	299,65	---

I dati ricavati mediante analizzatore di particelle sono stati poi trasformati secondo la scala Wentworth. Con questa trasformazione è osservabile che il 77% del volume campione è composto da sabbia fine e media, il 12% è rappresentato dalla sabbia grossa, mentre il limo rappresenta solo il 5% del volume totale (Grafico 6).

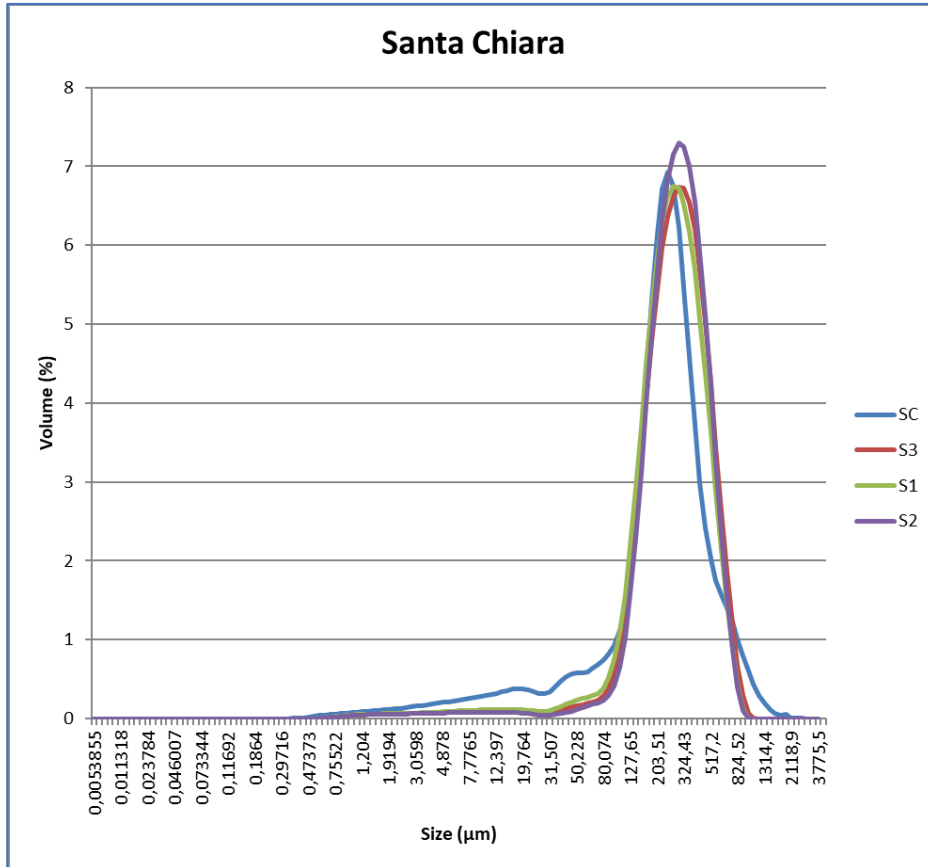


Grafico 5: Risultati dell'analisi granulometrica dei campioni raccolti nel sito Santa Chiara. Grafico realizzato attraverso il software associato all'analizzatore di dimensione delle particelle (LS 13 320 XR Laser Diffraction Particle Size Analyzer).

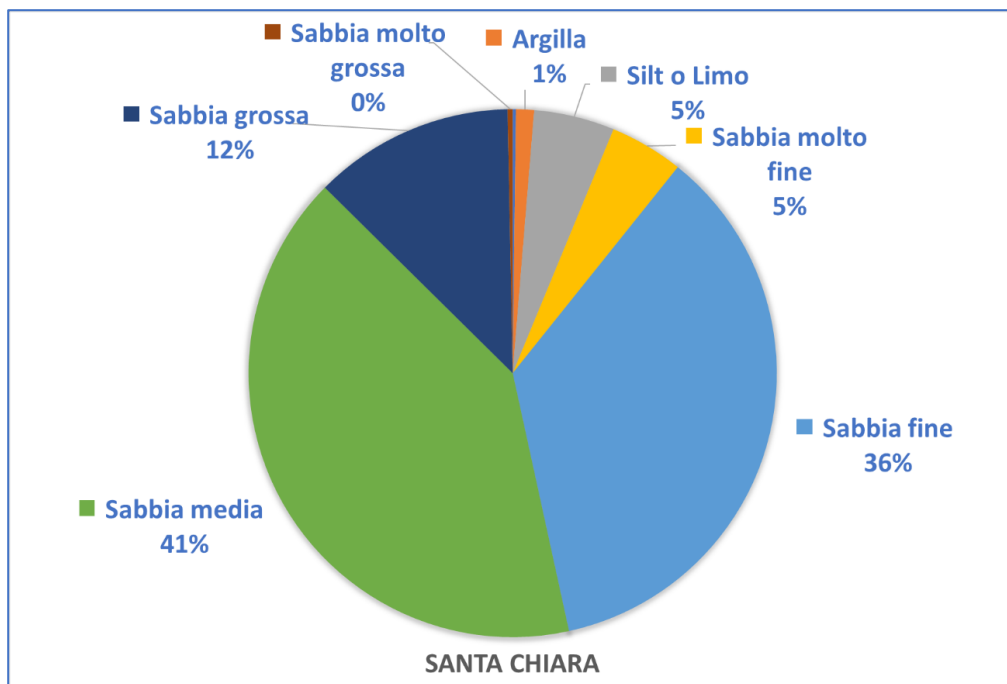


Grafico 6: Percentuali volumetriche medie occupate dalle diverse classi di sedimento secondo la scala Wentworth nei campioni del sito Santa Chiara.

3.1.3 Piovego

Le dieci repliche prelevate nella stazione Piovego sono state raggruppate in 6 campioni.

In questa stazione sono state individuate 21 Famiglie di macroinvertebrati.

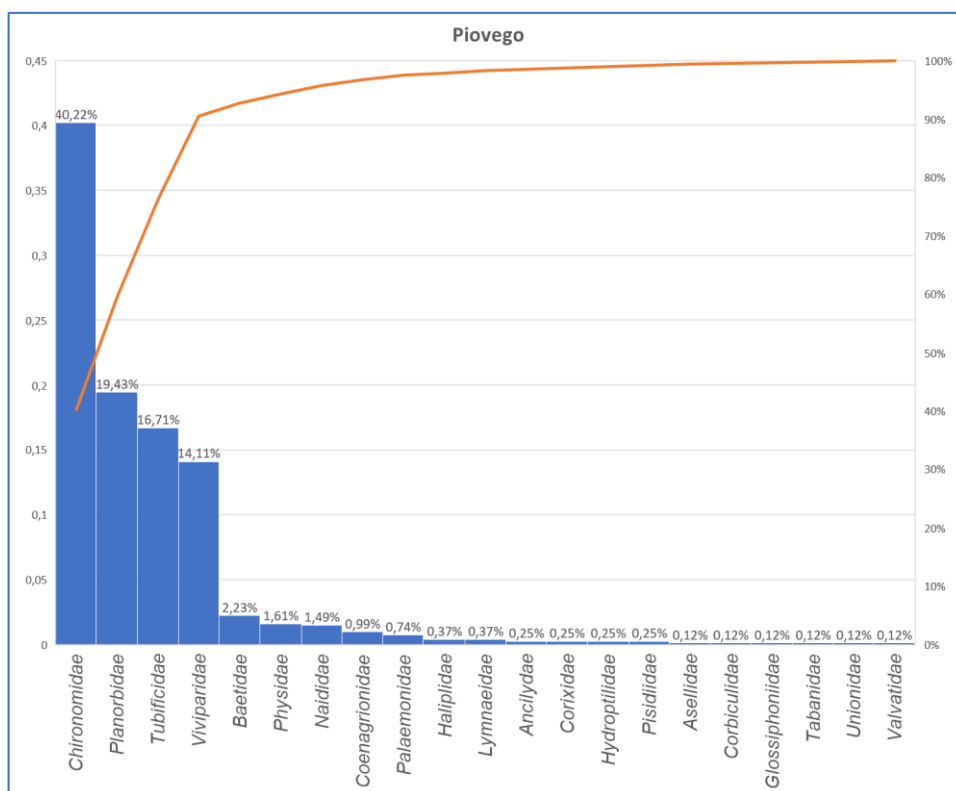


Grafico 7: Famiglie riscontrate nel sito Piovego e frazione di individui che rappresentano rispetto al totale degli individui del campione. La linea arancione rappresenta l'andamento della percentuale totale cumulativa (asse destro).

Chironomidae, Planorbidae, Tubificidae e Viviparidae rappresentano più del 90% del campione (Grafico 7).

Sul sito Piovego sono stati raccolti tre campioni di sedimento (P1, P2, P3) che sono stati analizzati separatamente con lo strumento LS 13 320 XR.

È possibile osservare due picchi di volume percentuale di cui uno tra i 100 e 130 μm e uno tra i 12 e i 19 μm . Possiamo osservare una variabilità tra i tre campioni (Grafico 8), e dunque tra i punti di campionamento del sito. In particolare, possiamo notare come nel campione P1 il limo occupa una maggior percentuale di volume totale, rispetto a quanto accade negli altri due campioni, andando quasi a raggiungere il volume occupato dalla sabbia. Questa variabilità è osservabile anche dai dati di moda e media delle tre corse (Tabella 11), ma sostanzialmente i campioni risultano piuttosto simili tra loro.

Tabella 11: valori di media e moda delle tre corse eseguite per campione dall'analizzatore di particelle dei campioni di sedimento del Piovego

Campione	Media delle tre corse (μm)	Moda (μm)
P1	59,5	109,37
P2	67,1	102,7
P3	78,61	127,7
Media dei campioni	68,40	---

Le percentuali volumetriche sono state poi divise in classi secondo la scala Wentworth, per poter meglio apprezzare la composizione del sedimento e plottate in un grafico a torta (Grafico 9). Dai risultati è possibile osservare come, similmente al Tronco Maestro, circa la metà del volume percentuale del sedimento dei campioni prelevati sia composto da limo, che qui arriva a coprire il 51% del volume. La sabbia molto fine rappresenta un 20%, segue la sabbia fine che occupa il 17% del volume del campione, mentre il volume dal particolato di sabbia grossa è irrisorio rispetto al totale.

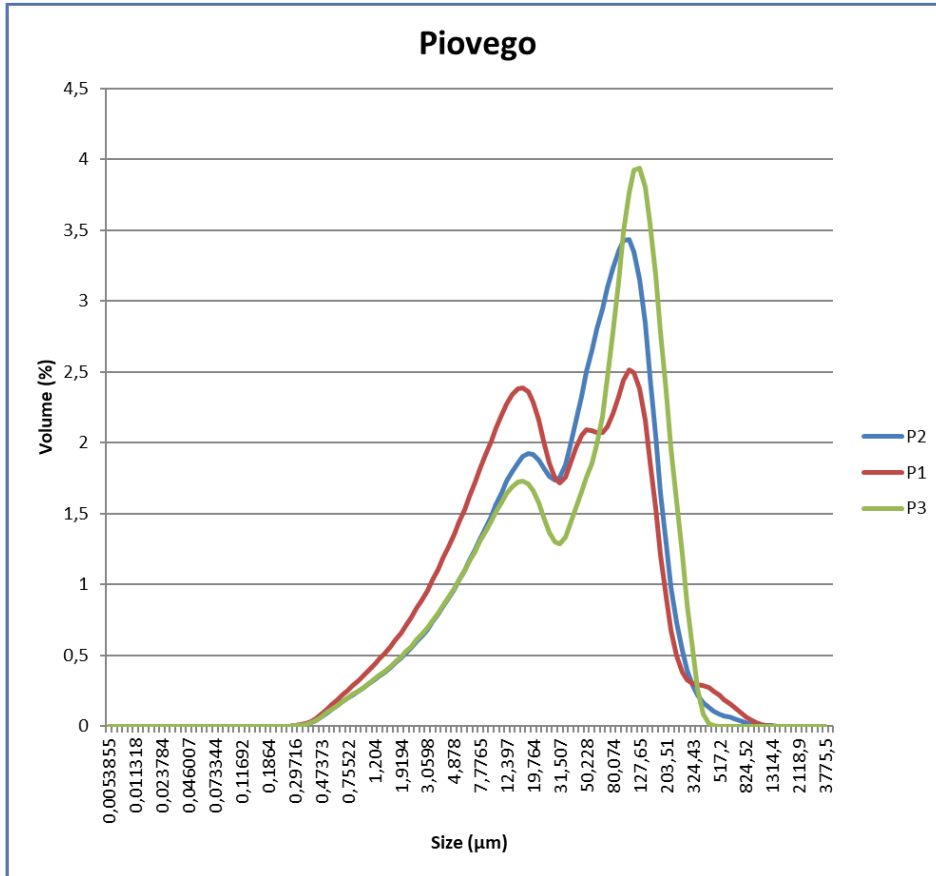


Grafico 8: Risultati dell'analisi granulometrica dei campioni raccolti nel sito Piovego. . Grafico realizzato attraverso il software associato all'analizzatore di dimensione delle particelle (LS 13 320 XR Laser Diffraction Particle Size Analyzer).

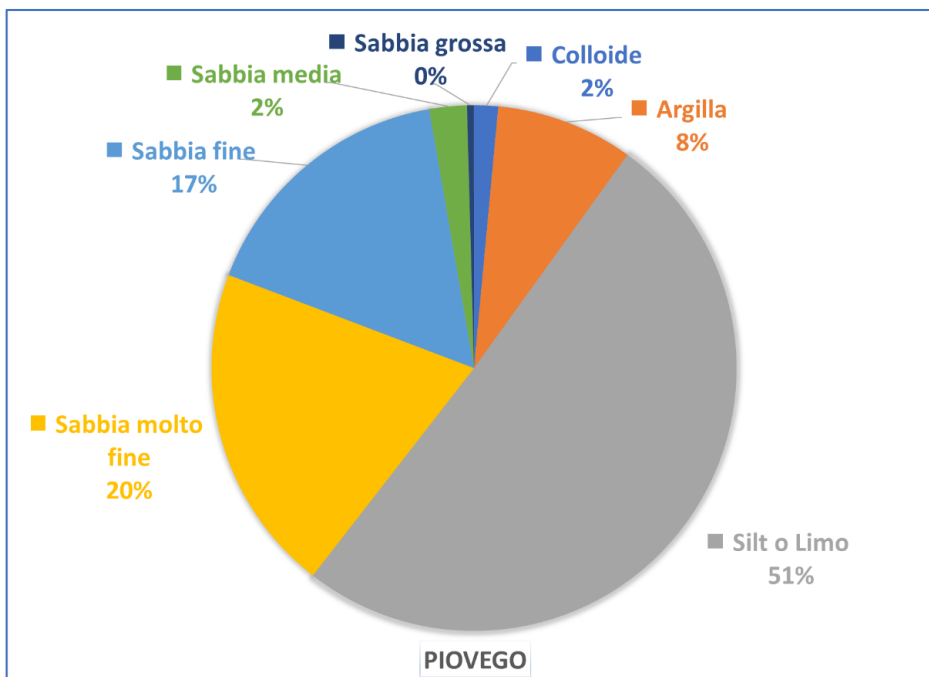


Grafico 9: Percentuali volumetriche medie occupate dalle diverse classi di sedimento secondo la scala Wentworth nei campioni del sito Piovego.

3.2 CONFRONTO TRA LE STAZIONI

Dall'indagine sui macroinvertebrati presenti nelle tre stazioni si può osservare che le Famiglie sono diverse tra i tre siti: alcune sono esclusive di uno dei tre, altre sono condivise ma presentano abbondanze assolute e relative diverse.

Per confrontare visivamente l'abbondanza delle famiglie tra i tre tratti fluviali in esame, ottenute sommando per ogni sito le abbondanze delle repliche del sito stesso, è stato ricavato un barplot (Grafico 10).

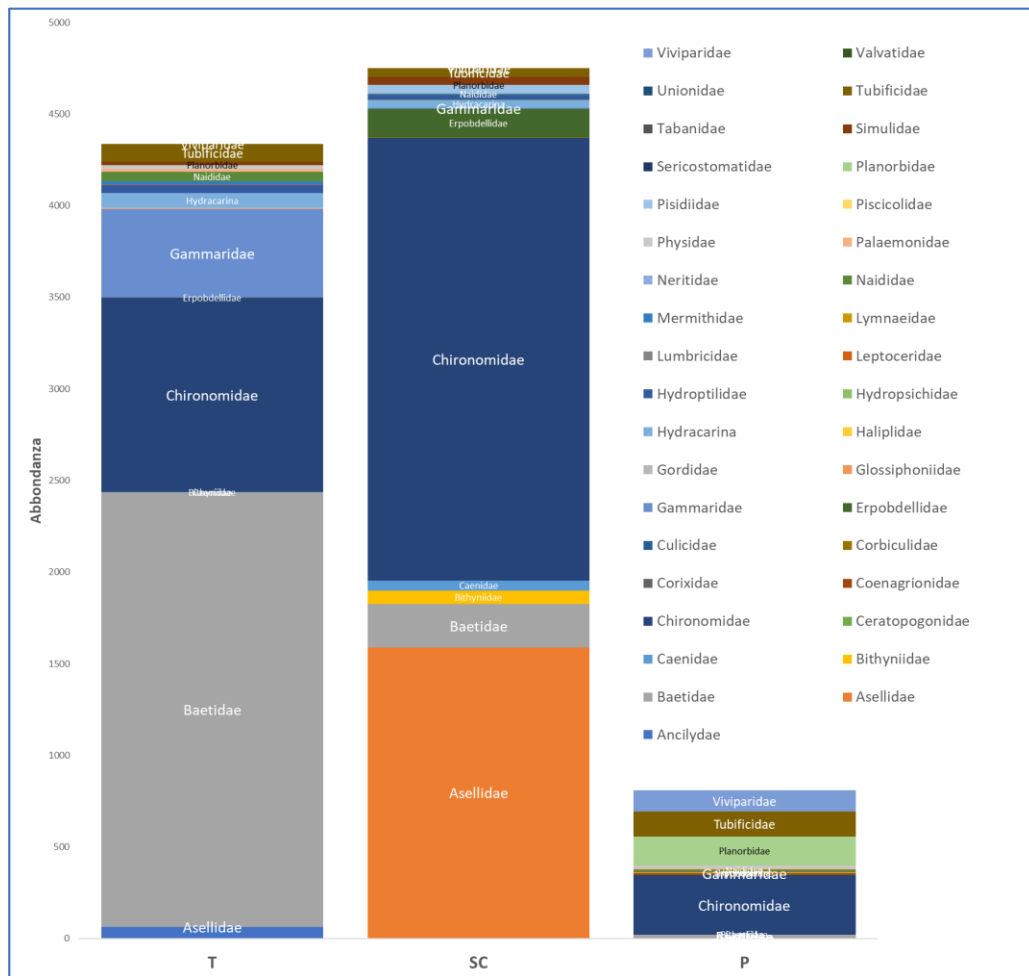


Grafico 10: Abbondanza delle diverse Famiglie nei tre siti oggetto di studio. T = Tronco Maestro, SC = Santa Chiara, P = Piovego.

Nonostante il numero di famiglie riscontrate nei tre siti sia lo stesso è possibile osservare come l'abbondanza totale dei macroinvertebrati riscontrati sia diversa nei tre campioni, in particolare per il Piovego in cui gli individui prelevati e classificati sono risultati solo 808, contro i 4336 e 4750 di Tronco Maestro e Santa Chiara rispettivamente. Anche le abbondanze relative tra i tre gruppi risultano differenti. In particolare, vediamo come nel Piovego i chironomidi siano preponderanti; gli stessi sono presenti anche abbondantemente nel Santa Chiara, dove però risalta la presenza di

numerosi asellidi. Anche nel Tronco Maestro possiamo osservare una buona quantità di chironomidi, che sono però sottorappresentati rispetto alla famiglia Baetidae.

La famiglia Chironomidae risulta dunque piuttosto presente in tutti i campioni. Questo è un gruppo di ditteri piuttosto resistente a condizioni ambientali avverse: sono infatti tolleranti a basse concentrazioni di ossigeno e possono essere presenti a grande densità in ambienti degradati (Campaioli et al. 1999). Asellidae sono invece l'unica famiglia di isopodi delle acque correnti. Sono animali detritivori, piuttosto resistenti all'inquinamento e prediligono ambienti ricchi di detrito organico (Sansoni 2001). La Famiglia Baetidae, risultata abbondante nel sito del Tronco Maestro, appartiene agli Efemerotteri, uno degli ordini facente parte del gruppo EPT che mette insieme gli ordini di macroinvertebrati considerati più sensibili ad una cattiva qualità dell'ecosistema. Tuttavia, tra gli Efemerotteri i Betidi sono i meno sensibili, tanto che erano considerati nel livello inferiore rispetto agli altri Efemerotteri per l'assegnazione di qualità, quando veniva utilizzato l'Indice Biotico Esteso (I.B.E.)¹³ (APAT e IRSA-CNR 2003).

3.2.1 nMDS

Per poter confrontare tra loro le stazioni e vedere se le abbondanze dei taxa di macroinvertebrati riscontrate andassero a costituire dei gruppi distinti o meno è stata eseguita un'analisi multivariata, utilizzando come input i diversi campioni ottenuti raggruppando le 10 repliche di ogni stazione, previa trasformazione logaritmica delle abbondanze. Possiamo controllare la qualità dell'analisi in base al coefficiente di Stress, che qui risulta di 0,07, indicando che l'analisi è decisamente buona¹⁴ (Clarke et al. 2014). Il risultato grafico dell'analisi è presentato nel Grafico 11.

L'analisi mostra come i campioni raccolti e classificati appartenenti ai diversi tratti fluviali vadano a raggrupparsi per sito in modo molto netto. Questo indica che le Famiglie di macroinvertebrati presenti e la loro abbondanza relativa risultano essere dei buoni discriminanti delle tre stazioni: i tre tratti fluviali in esame possiedono tre diverse comunità di macroinvertebrati, ognuna caratterizzata dalle sue Famiglie e abbondanze relative.

¹³ L'I.B.E. veniva calcolato sulla base di una tabella a due entrate in cui un'entrata era legata alla numerosità dei gruppi tassonomici e l'altra in base ad alcuni gruppi faunistici, ordinati dai più sensibili ai meno sensibili a condizioni di stress e bassa qualità del corpo idrico (APAT e IRSA-CNR 2003)

¹⁴ Coefficienti di Stress minori di 0,05 indicano che l'analisi fornisce una rappresentazione eccellente; uno stress minore di 0,1 indica una buona analisi, senza una reale possibilità di un'errata interpretazione; stress minori di 0,2 danno ancora indicazione di un grafico utile; stress maggiori di 0,3 indicano invece che la vicinanza tra i punti potrebbe essere dovuta al caso (Clarke et al. 2014)

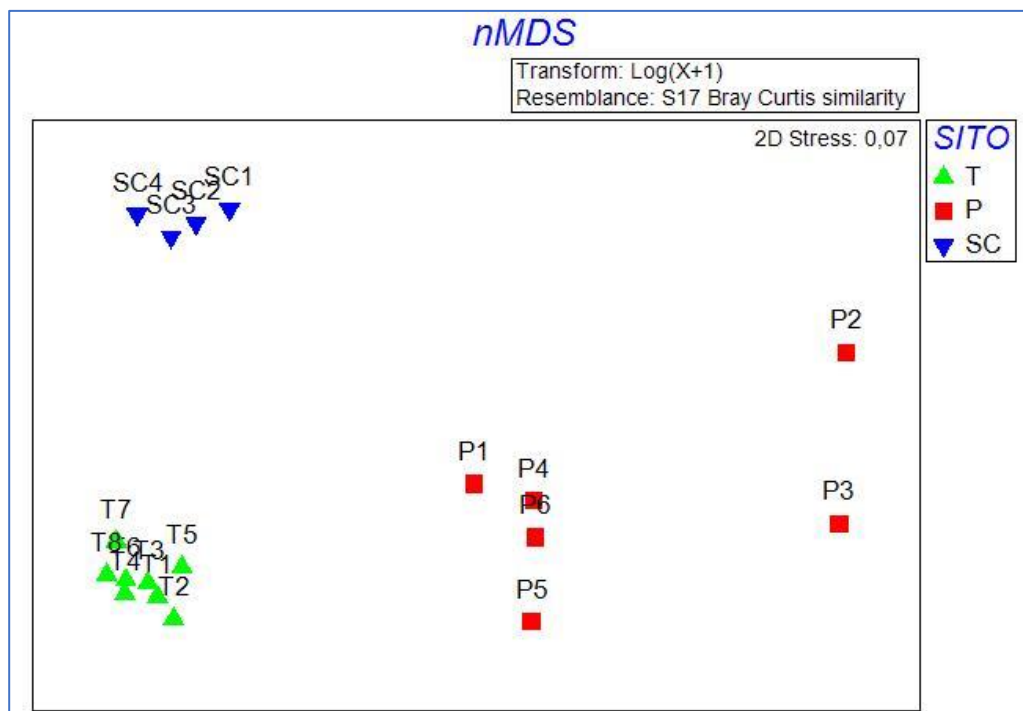


Grafico 11: Output grafico dell'analisi nMDS sui dati dei macroinvertebrati raccolti sui tre siti, divisi per Famiglie.

La stessa analisi è stata ripetuta anche sui dati non raggruppati per famiglie, ovvero mantenendo separati quei gruppi in cui si era classificato anche il Genere e comprendendo Concostraci e Notostraci, che non vengono utilizzati per il calcolo dello STAR_ICMi, per vedere se vi erano particolari differenze legate a questi gruppi. Gli output risultano però molto simili e si è dunque deciso di proseguire le analisi tenendo conto delle sole Famiglie, così da avere un raggruppamento tassonomico più omogeneo e dunque confrontabile.

Sulle Famiglie di macroinvertebrati è stata poi fatta una clusterizzazione in base al livello di similarità (rappresentata graficamente nei Grafici 12 e 13). Questa analisi ci mostra che, pur essendo presenti dei sotto-raggruppamenti interni ai diversi siti, in particolare nel Piovego, che potrebbero essere legati alla diversità di microhabitat, tipica all'interno di uno stesso tratto fluviale, o eventualmente alla parte operativa di raccolta del campione, rimane molto chiara la divisione in cluster dei tre tratti fluviali. Da questa analisi emerge anche che sulla base dei coefficienti di similarità calcolati i campioni prelevati nel Santa Chiara e nel Tronco Maestro risultano più simili tra loro rispetto ai campioni del canale Piovego, con cui il livello di similarità è minore di 40.

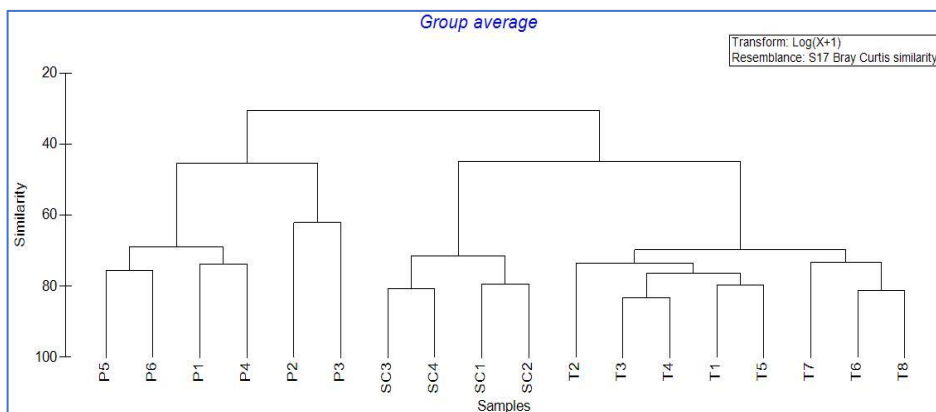


Grafico 12: Divisione in Cluster dei campioni, sulla base della similarità.

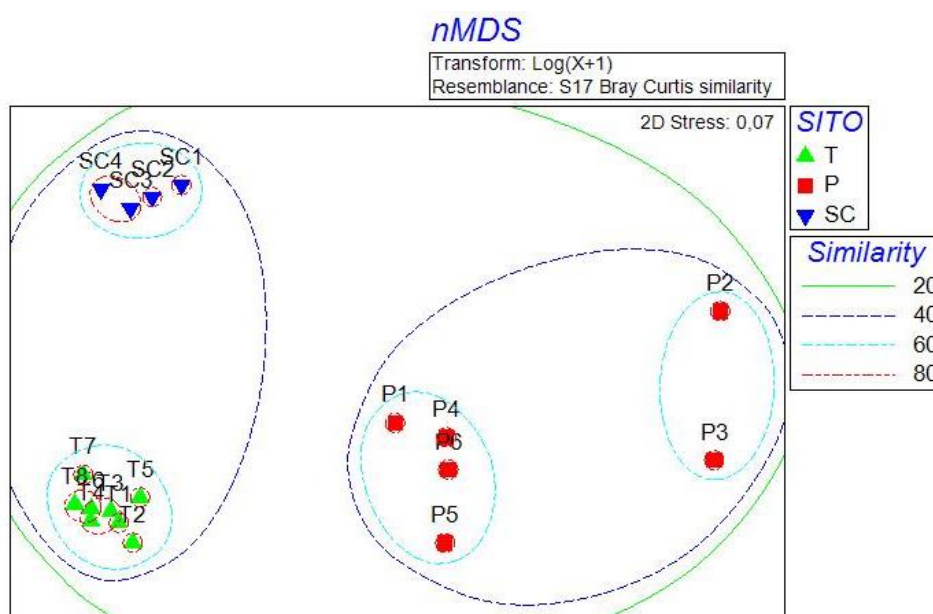


Grafico 13: : nMDS e clusterizzazione sulla base della similarità.

Per poter testare la possibile significatività della divisione in gruppi osservabile tramite la nMDS è stata applicata l'analisi PERMANOVA+, sia di tipo "main test" che e "pair-wise test", utilizzando il sito di campionamento (T, SC, P) come fattore random.

Il test di tipo "main" ha restituito una statistica Pseudo-F di 16,158 con $p = 0.01$. Il test mostra quindi che i gruppi di organismi nei tre diversi siti, peraltro già identificati visivamente tramite l'analisi nMDS, sono differenti in modo statisticamente significativo, e cioè non sono frutto del caso ma rappresentano delle vere differenze tra i campioni in esame.

Il test a coppie ha mostrato una differenza statisticamente significativa tra tutti i siti, e in particolare:

- Tronco Comune e Piovego ($p = 0,001$);
- Tronco Maestro e Santa Chiara ($p = 0,002$);
- Piovego e Santa Chiara ($p = 0,006$).

I dati mostrano che le comunità di macroinvertebrati individuate nei tre siti sono effettivamente delle comunità differenti che costituiscono un elemento che discrimina i tre siti, suggerendo dunque che questi abbiano caratteristiche ecologiche differenti. Possiamo dunque considerare i tre siti come facenti parte di tre tratti fluviali distinti e provare a caratterizzare i tre ecosistemi separatamente tra loro, andando ad indagare gli elementi biotici, abiotici e la loro interazione, per comprendere quali sono gli elementi che le contraddistinguono.

Una volta stabilito che i gruppi formati, che dividono in modo piuttosto chiaro le tre stazioni tra loro, sono statisticamente significativi, è stata applicata l'analisi SIMPER, sui dati dei macroinvertebrati trasformati mediante logaritmo ($\log(X+1)$), per individuare quali famiglie contribuiscono maggiormente alla similarità internamente ad uno stesso sito e la dissimilarità tra i tre siti in esame (Appendice D e E).

Secondo l'analisi SIMPER, il Santa Chiara viene distinto dagli altri due siti con una forte presenza della famiglia Asellidae, che in entrambi i confronti porta un contributo attorno al 15% alla dissimilarità tra essi. Un buon contributo, attorno al 9% viene dato anche dalla presenza delle sanguisughe Erpobdellidae.

Il Tronco Maestro sembra essere caratterizzato come primo elemento dalla famiglia Gammaridae, che danno un contributo di più del 12% nella distinzione con il Piovego, e del circa 8% con il Santa Chiara. La famiglia Baetidae distingue piuttosto bene questa stazione dal Piovego, con un contributo che supera il 15%, ma ha meno impatto se confrontata con il sito Santa Chiara, che possiede anch'esso un buon numero di Betidi (circa 5% del campione).

Il sito Piovego sembra essere distinto principalmente dalla mancanza di alcuni gruppi molto abbondanti negli altri siti: Asellidae, Baetidae, Erpobdellidae, Gammaridae (i cui contributi di dissimilarità percentuale sono riportati nel confronto con le stazioni precedenti). Sono invece molto presenti Viviparidae e Planorbidae, due famiglie di gasteropodi che mancano nelle altre due stazioni. La prima contribuisce per il 7% nella diversità con il Santa Chiara e per il 9% con il Tronco Maestro, mentre la seconda fornisce un contributo di dissimilarità del 6% circa nel confronto con il Santa Chiara e del 7% circa nel confronto con il Tronco Maestro.

3.2.2 Le stazioni e l'indice STAR_ICMi

L'analisi dell'indice di qualità dell'acqua basato sul campionamento multihabitat proporzionale dei macroinvertebrati è stata applicata separatamente per ogni stazione, con l'utilizzo del software MacrOper

I dati della stazione Tronco Comune sono composti da 21 Taxa (Famiglie). L'indice STAR_ICMi per questa stazione risulta essere 0,450. Di conseguenza lo Stato Ecologico è classificato come SCARSO. Anche nella stazione Santa Chiara sono state individuate 21 Famiglie. L'indice STAR_ICMi risulta 0,452 indicando così come SCARSO lo Stato Ecologico del sito. Nella stazione Piovego l'elaborazione dei dati di abbondanza delle 21 Famiglie rilevate ha portato al calcolo di un indice STAR_ICMi di 0,350 e dunque Stato Ecologico considerato SCARSO.

Il giudizio sullo Stato Ecologico è dunque uguale per i tre siti. Le tre stazioni risultano di qualità scarsa, mostrando un disegno non rassicurante della generale qualità degli ecosistemi fluviali presenti all'interno del reticolo idrografico della città di Padova. Tuttavia, gli indici di qualità rilevano delle leggere differenze tra le stazioni. Le stazioni Tronco Maestro e Santa Chiara risultano piuttosto comparabili tra loro e il valore dell'indice si avvicina al limite tra uno stato Ecologico scarso e moderato. L'indice della stazione Piovego ci mostra invece una situazione diversa, discostandosi dalle prime due e ponendosi al centro della fascia di Stato Ecologico scarso. Possiamo quindi affermare che pur avendo tutte e tre le stazioni una scarsa qualità dell'ecosistema, la stazione Piovego risulta peggiore delle altre analizzate.

Per quanto riguarda lo stato scarso della qualità dell'acqua già all'entrata della città è necessario tenere conto delle condizioni dello stato di salute del corpo idrico appena a monte. L'ArpaV monitora periodicamente il Bacchiglione in una stazione posta appena a monte di Padova (codice stazione 326, codice corpo idrico 219_50). Il rapporto tecnico di ArpaV del 2022 sullo stato delle acque superficiali (Cason et al. 2023) mostra come il dato dei macroinvertebrati, così come quello delle diatomee, ha portato a classificare lo stato di qualità biologica della stazione come scarso. Di conseguenza l'acqua che entra in città ha già questo tipo di classificazione, prima ancora di ricevere alcuna influenza da parte di questa.

3.2.3 L'indice di Shannon

Le stazioni in esame hanno mostrato degli indici di Shannon abbondantemente sotto il 3, anche se maggiori di 1 (Tabella 12). Secondo questo indice dunque tutti e tre i siti hanno una diversità piuttosto bassa.

Tabella 12: indici di Shannon per le tre stazioni in esame

Stazione	Indice di Shannon
Tronco Comune	1,356
Santa Chiara	1,329
Piovego	1,706

È possibile osservare che il valore dell'indice per il Piovego risulta leggermente maggiore. Infatti, le famiglie con una grande presenza in questo sito sono 4, a differenza delle 3 del tronco maestro e delle 2 del Santa Chiara.

3.2.4 Le stazioni e i parametri ambientali

Dai dati (Tabelle 13 e 14) ottenuti con i campionamenti mensili e grazie agli strumenti fissi del gruppo LASA e del Dipartimento di Biologia è possibile caratterizzare le stazioni dal punto di vista chimico-fisico e microbiologico.

Per quanto riguarda la temperatura possiamo vedere che le tre stazioni non differiscono in modo sostanziale tra loro. Piccole variazioni possono essere anche dovute al diverso orario di campionamento effettuato, alla presenza di maggiore o minore ombra nel tratto in cui è stato prelevato il campione, o a normale stocasticità naturale.

Per quanto riguarda invece i parametri che mostrano la quantità di ossigeno disciolto medio possiamo notare come l'ossigeno medio osservato dall'autunno precedente (ottobre 2022) fino a fine maggio 2023, mostra che l'acqua del Santa Chiara ha una quantità di ossigeno maggiore, seguono il Tronco Comune e infine Piovego, anche se i valori sono abbastanza simili. Quello che appare però evidente è come il minimo di ossigeno disciolto raggiunto dal canale Piovego nei due mesi e mezzo antecedenti il campionamento biologico risulta molto più basso rispetto a quello raggiunto dagli altri due tratti. Questa diversità piuttosto marcata è tipicamente osservabile anche su un periodo di alcuni giorni (vi è un esempio nel Grafico 14): nelle altre due stazioni infatti non vi sono fluttuazioni altrettanto evidenti della quantità di ossigeno disciolto.

Per quanto riguarda la concentrazione degli elementi microbiologici, *E. coli* e Coliformi fecali, calcolati sulla media dei dati ottenuti dai campionamenti eseguiti tra il 4/10/2022 e il 29/5/2023, il Piovego risulta quello che ne contiene un numero maggiore; seguono Santa Chiara e Tronco Maestro. La concentrazione totale di azoto inorganico disciolto risulta invece maggiore nel canale Tronco Maestro e comparabile tra le altre due stazioni.

Tabella 13: Parametri chimico-fisici delle tre stazioni e relative deviazioni standard (SD) (per le specifiche si vedano i Materiali e metodi)

SITO	Temperatura dell'acqua (°C)	SD temperatura	DO (mg/L)	SD DO	DO minimo (mg/L)	DIN (mg/L)	SD DIN
T	12,48	4,57	9,49	1,40	4,07	2,70	0,86
P	12,20	4,61	9,04	1,58	0,47	2,59	0,72
SC	12,16	4,78	9,99	1,40	4,07	2,58	0,66

Tabella 14: Parametri microbiologici delle tre stazioni e relative deviazioni standard (SD) (per le specifiche si vedano i Materiali e metodi)

SITO	<i>E. coli</i> LOG UFC/100mL	SD <i>E. coli</i>	Coliformi Fecali LOG UFC/100mL	SD Coliformi fecali
T	2,56	2,8	3,17	3,34
P	3,03	2,88	3,5	3,48
SC	2,86	3,05	3,3	3,39

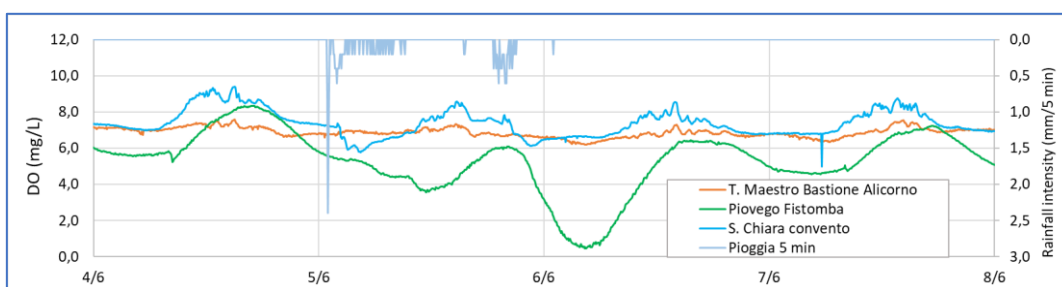


Grafico 14: Livelli di ossigeno rilevati dagli strumenti MiniDOT nelle tre stazioni in esame dal 4 all'8 giugno 2023 e dati di pioggia rilevati alla stazione meteorologica ARPAV di Padova e gentilmente concessi dall'Unità Organizzativa Meteorologia e Climatologia dello stesso ente. Grafico realizzato con Excel da Alex Faccin, ricercatore del gruppo LASA e del Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova.

Dalla caratterizzazione del sedimento delle tre stazioni vista prima è possibile osservare come Tronco Maestro e Piovego presentino un sedimento piuttosto simile tra loro, rappresentato principalmente da limo, sabbia fine e molto fine. Al contrario il sedimento del canale Santa Chiara è costituito principalmente da sabbia fine e media e con un buon 12% di sabbia grossa, mentre la sabbia molto fine rappresenta solo un 5%.

Anche osservando visivamente l'ambiente di questi tratti è evidente come la corrente del Santa Chiara sia maggiore, l'alveo più ristretto e la quantità di sostanza organica grossolana, come foglie secche, nell'alveo appare minore.

Confrontando Piovego e Tronco Maestro si può notare come il primo abbia una maggior quantità di sabbia molto fine che raggiunge un 20% contro il 12% del tronco comune e minor quantità di sabbia media.

È possibile anche confrontare i diversi campioni dal punto di vista della granulometria tramite il triangolo di Shepard (Grafico 15) che si basa sul contenuto di sabbia, limo e argilla (Tabella 15) (Magno et al. 2016) raggruppando quindi le categorie viste in precedenza.

Questa classificazione conferma quanto già visto in precedenza, infatti i campioni del sito Santa Chiara (5,6,7,8) risultano particolarmente distinte rispetto ai campioni prelevati dagli altri siti, risultando di tipo sabbioso.

Le repliche di sedimento di Tronco Comune e Piovego sono distribuite nei terreni franco-sabbioso e franco-limoso.

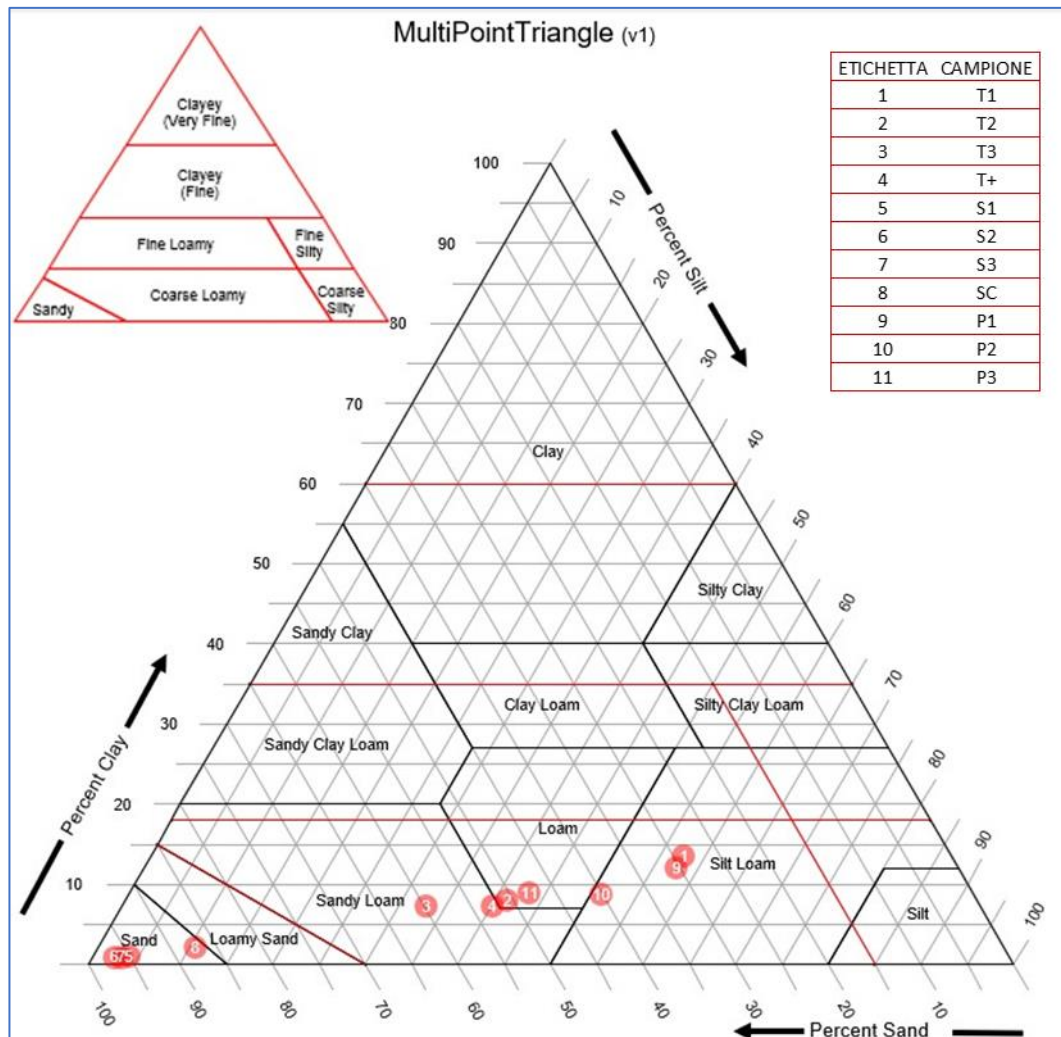


Grafico 15: Rappresentazione degli 11 campioni di sedimento nel triangolo di Shepard. Grafico realizzato mediante uno strumento abilitato per le macro di Microsoft Excel (Microsoft Excel Macro-enabled tool) (Natural Resources Conservation Service U.S. Department of Agriculture. Ultimo accesso: 6 Febbraio 2024)

Tabella 15: Composizione media del sedimento secondo la classificazione di Shepard relativo alle tre stazioni (per le specifiche si veda materiali e metodi).

SITO	Argilla (V%)	Limo (V%)	Sabbia (V%)
T	9,03	42,94	48,02
P	9,94	50,58	39,47
SC	1,30	4,94	93,76

3.2.5 Correlazione tra macroinvertebrati e parametri ambientali

I dati dei parametri chimico-fisici, microbiologici e i dati di granulometria raggruppati secondo il triangolo di Shepard sono stati messi in relazione con i dati dei campioni di macroinvertebrati raccolti, applicando l'analisi BEST con il software Primer. L'analisi ha associato le diverse possibili combinazioni di variabili ambientali al coefficiente di correlazione di Spearman (Rho) che indica la forza della relazione coi dati di macroinvertebrati¹⁵.

Tutte le combinazioni risultano però avere lo stesso coefficiente che correla i dati di biocenosi con i predittori, e il valore di Rho inoltre risulta piuttosto alto essendo di 0,817. Tuttavia, c'è un'unica selezione di predittori ambientali con tale coefficiente Rho e che contiene un unico predittore e che quindi, a parità di capacità predittiva, è la combinazione più parsimoniosa: tale predittore risulta essere la concentrazione minima di ossigeno.

Questo risultato ci dice che secondo l'analisi eseguita la variabile più importante che correla la diversità dei dati di biocenosi con i parametri ambientali delle tre stazioni è il valore minimo di ossigeno disciolto raggiunto dalle tre stazioni nel periodo precedente al campionamento del macroinvertebrati.

Per verificare il risultato con un metodo diverso e cercare se vi fossero altre variabili che potessero spiegare la diversità tra le stazioni è stata poi applicata l'analisi DistLM. Questa ha restituito un modello lineare che ha preso in considerazione il minimo di ossigeno disciolto come primo elemento discriminante, confermando quindi il risultato di BEST, e ponendo come seconda variabile discriminante la quantità di Argilla (Argilla + Colloide secondo la scala Wentworth) presente nel campione. Il minimo di ossigeno spiega il 45% della varianza, mentre la quantità di argilla spiega il 23% della varianza. Entrambe le statistiche relative ai due predittori nel test restituiscono un p-Value di 0,001, un valore basso che ci indica la significatività statistica del risultato proposto. Il parametro R^2 che indica la proporzione di variazione spiegata dal modello (Anderson, Gorley, e Clarke 2008) risulta di 0,68, dunque piuttosto alto. Il grafico restituito dal software (Grafico 16) mostra molto bene il risultato illustrato, inoltre la perpendicolarità dei due assi indicanti la direzione di cambiamento di argilla e ossigeno disciolto suggeriscono che questi parametri non sono chiaramente correlati tra loro.

¹⁵ Il coefficiente può variare tra -1 e 1, dove il valore 0 corrisponde all'assenza di correlazione (Clarke et al. 2014)

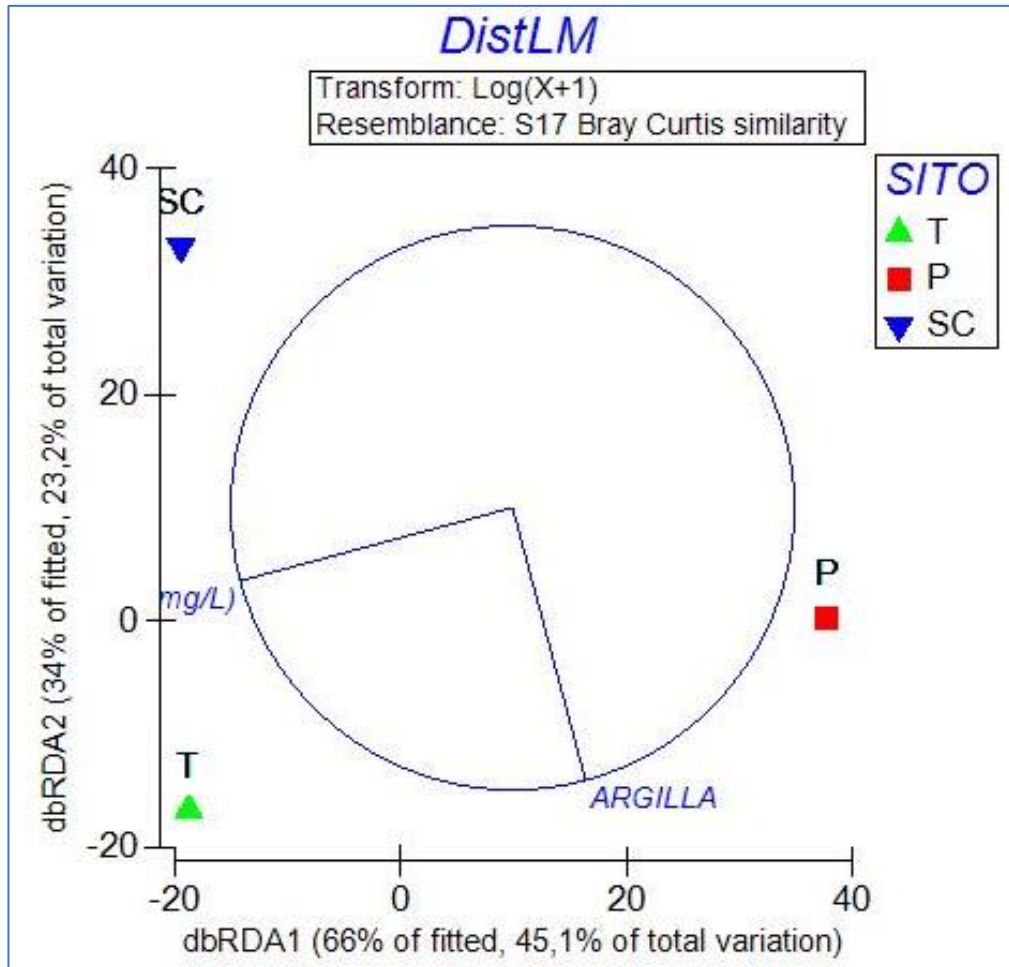


Grafico 16: Risultato dell'analisi DistLM rappresentante il miglior modello statistico identificato.

4. DISCUSSIONE

Dai risultati emerge chiaramente che i tre tratti fluviali studiati a Padova sono sistemi ecologici distinti. Le comunità di macroinvertebrati che le abitano, pur essendo costituite da uno stesso numero di Famiglie mostrano delle notevoli diversità, sia nei taxa presenti che nelle loro abbondanze assolute e relative.

Il Tronco Maestro è il tratto fluviale del reticolo idrografico che corrisponde all'entrata del Bacchiglione nella città e alimenta i canali interni. In esso, oltre alla famiglia Chironomidae, un gruppo piuttosto ubiquitario di Ditteri, che comprende specie molto resistenti agli inquinanti e a una bassa concentrazione di ossigeno (Sansoni 2001; Campaioli et al. 1999), sono abbondanti le famiglie Baetidae e Gammaridae, gruppi comunque resistenti all'inquinamento, ma già più sensibili (Sansoni 2001).

Nella comunità di macroinvertebrati presente sul tratto Santa Chiara, un canale piuttosto stretto e con corrente sostenuta, sono abbondanti, oltre ai Chironomidi, gli Isopodi Asellidae. Si trovano poi una buona quantità di individui appartenenti alla famiglia Baetidae e al gruppo degli irudinei, che invece non è rappresentato nelle altre stazioni.

In entrambe le comunità di queste stazioni troviamo dunque Crostacei ed Insetti Efemerotteri. Nella stazione Piovego invece, il tratto più a valle del reticolo idrografico considerato, oltre alla famiglia Chironomidae, presenta un'abbondanza di Gasteropodi e di Tubificidae, una famiglia di oligocheti.

È possibile osservare inoltre come in questa stazione il numero di individui riscontrati risulti nettamente inferiore, essendo meno di 1/5 rispetto alla numerosità rilevata negli altri siti.

Le differenze nelle comunità di macroinvertebrati possono essere spiegate dalla commistione di più aspetti. Qualitativamente è possibile osservare che i tre tratti fluviali hanno caratteristiche differenti tra loro. Il Tronco Maestro ha un alveo piuttosto largo (indicativamente sui 18 m), di cui una parte non guadabile, possiede una leggera corrente e l'alveo appare piuttosto vegetato, con numerose macrofite che nel periodo estivo hanno ampio sviluppo. Il tratto campionato è situato poco dopo l'entrata in città del Bacchiglione; dunque, la sua portata dipenderebbe naturalmente dal livello di quest'ultimo, ma in realtà è costantemente controllata anche dalle paratoie che sono poste poco più a monte. Sotto controllo antropico è altresì il livello del canale Santa Chiara, che differisce dal Tronco Maestro. L'alveo è molto più stretto (all'incirca di 5 m), risultando interamente guadabile, e la corrente è mediamente più forte. Anche nell'alveo di questo tratto possiamo trovare, durante il periodo estivo, una ricca vegetazione. Il Santa Chiara è posto all'uscita del centro storico; su di esso convergono le acque che passano per il centro e immettono alcuni scoli. Il tratto fluviale del Piovego

è invece il sito più a valle tra quelli presi in esame e raccoglie principalmente le acque del Tronco Maestro e di Fossa Bastioni, nella quale immettono numerosi scoli, che portano anche acque reflue. Il canale Piovego è più largo dei precedenti, raggiungendo indicativamente i 25 m di larghezza, di cui una parte non risulta guadabile; l'alveo è, almeno nella zona meno profonda, coperto di un tappeto di macrofite; la corrente è molto debole e anche qui il flusso è controllato mediante sistema artificiale; sul fondale è possibile trovare abbondante materia organica sottoforma di foglie e rami.

Ci si potrebbe pertanto aspettare che la qualità dell'acqua risulti relativamente buona o comunque sufficiente nel tratto in entrata dalla città, per poi peggiorare spostandosi verso valle a causa dell'attraversamento della città, fortemente urbanizzata, i cui scarichi specialmente in tempo di pioggia peggiorano la qualità dell'acqua (Faccin et al. 2023).

In realtà, l'indice STAR_ICMi, che si basa sulla comunità di macroinvertebrati indica che la qualità dell'ecosistema di tutte e tre le stazioni risulta SCARSO.

Va ricordato che il calcolo dell'Indice STAR_ICMi si basa su un campionamento di tipo standardizzato, il quale prevede che i campioni vengano raccolti preferibilmente in tarda primavera (maggio), tarda estate (settembre) e inverno (febbraio, inizio marzo). Inoltre, sono previsti un minimo di due campionamenti distribuiti in due stagioni (ISPRA 2014). A causa di necessità pratiche legate alle tempistiche e alla durata di questo progetto di tesi, non è stato possibile effettuare due campionamenti e nelle stagioni preferibili. Nel protocollo è anche indicato come preferibile eseguire i campionamenti in regime di magra e di morbida derivato da portate decrescenti indipendentemente dalla stagione, cosa però non valutabile in un sistema come quello dei canali di Padova dove il livello dell'acqua è costantemente controllato in modo artificiale, tramite manovre delle paratoie, per lo più non collegate ai regimi stagionali. È tuttavia possibile aggiungere a questo aspetto anche l'annotazione che negli ultimi anni, a causa del cambiamento climatico, stiamo assistendo ad una modifica della stagionalità (Sparks e Menzel 2002).

Un'altra caratteristica che distingue il campionamento effettuato da quello previsto per il calcolo dell'indice STAR_ICMi è la metodologia applicata per lo smistamento e la classificazione degli individui. I campioni raccolti con la rete Surber infatti dovrebbero essere posti in vaschette a fondo bianco con acqua e gli organismi riconosciuti e contati visivamente nella giornata, senza l'utilizzo del microscopio, e solo una parte dovrebbe essere trasportata in laboratorio per la conferma della classificazione o nel caso di individui dubbi. In questo lavoro di tesi invece si è scelto di effettuare il riconoscimento in laboratorio, mediante stereomicroscopio, a partire dai

campioni fissati in alcool. La scelta è ricaduta nell'utilizzo di questo secondo metodo, nonostante la criticità descritta, in quanto permetteva una più accurata classificazione e dunque una migliore caratterizzazione delle comunità in esame.

Questo potrebbe aver portato ad ottenere un risultato leggermente diverso, in particolare dal punto di vista delle abbondanze. Si ritiene infatti possibile che mediate lo stereomicroscopio siano stati considerati anche individui molto piccoli che ad occhio nudo sarebbero stati più raramente individuati. D'altra parte, diversi individui molto piccoli, come ad esempio alcuni Odonati, non sono stati inclusi nelle analisi in quanto, mancando i tratti tassonomici necessari a causa dello sviluppo non completo, non è stato possibile applicare la classificazione.

Si è ritenuto però ragionevole applicare le variazioni sopra descritte e considerare buono il risultato ottenuto, oltre che per le motivazioni prima illustrate, anche per il fatto che i risultati del lavoro possono essere sostenuti dalla valutazione del tratto fluviale appena fuori dalla città, eseguita dall'ArpaV nel 2022 (Cason et al. 2023). I dati della stazione di monitoraggio, posizionata a livello del Ponte Scaricatore, indica che il livello di qualità ecologica è SCARSO. L'acqua che alimenta il reticolo idrografico di Padova risulta essa stessa di scarsa qualità, prima dell'entrata in città.

Per poter dare però un giudizio più rigoroso sulla compatibilità del metodo di campionamento applicato con il calcolo dell'indice STAR_ICMi sarebbe necessario eseguire uno studio scientifico in cui porre esattamente a confronto il metodo di campionamento utilizzato in questa tesi con il metodo standard.

A differenza di quanto emerso dal dato biocenotico fornito dai macroinvertebrati, i dati sui parametri chimico-fisici e microbiologici ottenuti dal gruppo LASA e dal Dipartimento di Biologia mostrano come sul canale Tronco Maestro la qualità dell'acqua non sia così scarsa, presentando ad esempio una media di ossigeno disciolto di 9 mg/L che, come abbiamo visto nel periodo considerato, tendenzialmente non scende sotto i 4 mg/L.

Alla luce delle considerazioni fatte è possibile affermare che lo studio della comunità di macroinvertebrati ha contribuito a dare una visione più ampia dello stato ecologico del tratto fluviale e ha evidenziato una sofferenza non rilevata mediante parametri chimico-fisici e microbiologici, suggerendo la necessità di ulteriori indagini per comprenderne le cause. Uno degli elementi che potrebbero disturbare l'ecosistema in questa zona della città è lo stress idrico. Il flusso dell'acqua in ingresso in città infatti viene controllato attraverso l'apertura e la chiusura delle paratoie sul Ponte dei Cavaj, appena a monte del sito di campionamento dei macroinvertebrati. Il controllo della paratoia è finalizzato all'evitamento degli allagamenti e

all'esclusione delle piene dalla città. Questo implica che il livello del Tronco Maestro viene all'occorrenza abbassato, anche per diversi giorni di seguito, ed eventualmente bruscamente rialzato, con possibili ripercussioni sull'ecosistema. A questo vanno aggiunti i periodi di siccità che si possono verificare, così come avvenuto nell'estate del 2022. Un altro elemento che non è stato indagato e che potrebbe rappresentare un fattore di stress è l'eventuale presenza di inquinanti che potrebbero alterare i processi fisiologici degli organismi, come ad esempio sostanze chimiche utilizzate in processi industriali o fertilizzanti e pesticidi utilizzati nelle campagne circostanti.

Spostandosi verso valle vi è la stazione Santa Chiara, che riceve le acque a monte dal Tronco Maestro e quelle di immissione di alcuni scoli. La qualità dell'acqua risulta essere anche qui scarsa, con un indice STAR_ICMi molto vicino a quello identificato per la stazione precedente, di 0,452. Anche i dati dei parametri chimico-fisici risultano piuttosto simili rispetto alla stazione precedente. Cambia però la comunità che vive in questo tratto fluviale, così come la granulometria, in quanto il sedimento appare più grossolano. Queste caratteristiche sono associabili al fatto che i due ambienti sono piuttosto diversi, come illustrato, per la grandezza dell'alveo e per la velocità della corrente, che presumibilmente tenderà a portare a valle il sedimento più fine e permetterà lo stabilirsi di macroinvertebrati adatti ad essa e al diverso substrato, ostacolando la presenza delle Famiglie che preferiscono acque più tranquille. Possiamo osservare come ad esempio gli irudinei, che prediligono substrati duri su cui far aderire le ventose (Sansoni 2001) sono qui presenti, ma mancanti nelle altre stazioni.

Ancora più a valle, verso l'uscita della città, il tratto fluviale del Piovego in esame risulta di qualità ecologica classificata come scarsa, ma l'indice STAR_ICMi (0,350) evidenzia un peggioramento rispetto ai tratti a monte. Questo è visibile anche dai dati dei parametri chimico-fisici, non tanto nei loro valori medi ma piuttosto nei valori estremi e in particolare nei valori minimi di ossigeno disciolto prossimi all'anossia che l'acqua raggiunge, come dimostra anche l'analisi DistLM eseguita. Paradossalmente, l'indice di Shannon calcolato in questa stazione risulta maggiore di quelle delle altre due precedenti, con lo stesso numero di Famiglie, ma come ci indica l'indice STAR_ICMi è importante tenere conto non solo della numerosità dei taxa e degli individui presenti, ma anche delle caratteristiche ecologiche delle Famiglie. Infatti, in questa stazione troviamo soprattutto Gasteropodi e Tubificidi, più rari nei tratti a monte campionati. I gasteropodi sono organismi generalmente con una dieta mista e molto varia, da detrito organico, ad alghe, a microorganismi e alcuni in grado di filtrare il particolato fine (*Viviparus ater* e *Bithynia tentaculata*) (Sansoni 2001); vivono bene in

ambienti con abbondante vegetazione acquatica con acque lente e sono piuttosto tolleranti a condizioni ambientali avverse (Campaioli et al. 1994). I Tubificidi tendono ad essere abbondanti in ambienti con substrato limoso e elevato inquinamento organico (Sansoni 2001). Lo stabilirsi di queste famiglie è favorita dalla presenza di particolato fine e limoso, caratteristiche presenti in questo tratto come mostrato dai risultati delle analisi granulometriche.

La peggior qualità dell'acqua in questa stazione rispetto alle precedenti viene rilevata anche dai dati chimico-fisici: le analisi di DistLM e BEST ci mostrano come il parametro che più sembra influire sulle comunità di macroinvertebrati, e presumibilmente ha dunque forte effetto per la salute dell'intero ecosistema è il minimo di ossigeno che viene raggiunto.

Oltre alla corrente più lenta e alla posizione più a valle, con il naturale apporto di nutrienti che potrebbe favorire fenomeni di eutrofizzazione, il peggioramento delle condizioni di qualità dell'acqua e dell'ecosistema rispetto alle stazioni a monte, appare chiaramente legato all'influenza degli scarichi della città che si immettono nei canali, e in particolare quelli presenti su Fossa Bastioni, la quale confluisce poi nel Piovego, a monte del sito campionato. Gli studi pregressi sui parametri chimico-fisici evidenziano inoltre come questa situazione peggiori radicalmente durante gli eventi di pioggia (Faccin et al. 2023), durante i quali le fognature miste di parte della città scaricano sostanza organica e altri inquinanti in tali corpi idrici attraverso gli scolmatori di piena, fino a portare al raggiungimento di quei minimi di ossigeno che risultano statisticamente significativi nel determinare le differenze biologiche tra le stazioni.

L'informazione sulla comunità biocenotica mostra inoltre come, nonostante le medie di ossigeno possano risultare buone e si potrebbero considerare i picchi di minimo come di relativa importanza, questi in realtà siano decisivi per la qualità dell'ambiente nel suo complesso.

5. CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi illustrato si propone di caratterizzare la comunità di macroinvertebrati dei canali urbani della città di Padova da un punto di vista ecologico, cercando di fare una valutazione sulla qualità dell'ecosistema delle diverse stazioni e sulle loro peculiarità. Dal lavoro svolto e dalle analisi effettuate è emerso che tra i tre tratti fluviali presi in esame, all'interno del complesso sistema di canali della città, è possibile individuare diverse comunità biocenotiche il cui ecosistema differisce presumibilmente per i minimi di ossigeno che esse sperimentano e per la quantità di argilla nel sedimento (per lo meno tra i fattori ambientali presi in esame). Lo stato ecologico delle acque del reticolo idrografico risulta scarso, con un certo grado di differenza tra i tratti più a monte (che risultano parzialmente

migliori) e quelli più a valle, presumibilmente a causa dell'immissione di scarichi importanti di acque reflue in tempo di pioggia, che modificano l'ambiente con conseguenze sulle comunità di macroinvertebrati.

Il sistema è molto complesso, anche a causa delle relazioni tra i diversi canali e del controllo umano sui flussi idrici che è esercitato con diverse opere idrauliche. Numerosi sono gli aspetti che si potrebbero ulteriormente studiare e approfondire. Interessante sarebbe analizzare in modo più approfondito e puntuale la correlazione tra la presenza/assenza di determinate Famiglie di macroinvertebrati e gli elementi ecologici e antropici che agiscono sull'ambiente. Importante sarebbe indagare il flusso di corrente: se, come e quanto questo incida sulla comunità dei macroinvertebrati e sulla qualità dell'acqua (ad es. sull'ossigenazione, sul trasporto degli inquinanti a valle, sulla risospensione degli inquinanti dai sedimenti), anche per comprendere come migliorare il controllo delle opere idrauliche cittadine, come ad esempio le paratoie del Ponte dei Cavai, in modo da non creare stress agli ecosistemi, ma anzi poter agevolare una loro ripresa. Interessante potrebbe essere investigare la presenza di inquinanti (per es. metalli pesanti nei sedimenti, inquinanti emergenti nell'acqua e scarichi fognari) ed eventualmente se e quanto influiscano sulle comunità di macroinvertebrati.

Poiché durante lo studio è stata osservata un'abbondante presenza di macrofite negli alvei fluviali, potrebbe essere utile esaminare a livello quantitativo e qualitativo le macrofite presenti, e più in generale la vegetazione dell'ecosistema, sia attraverso campionamenti della stessa sia attraverso il rilevamento della clorofilla e cercare di comprendere l'apporto di essa alle caratteristiche dell'ecosistema, ad esempio per comprendere se le macrofite apportino più un beneficio tramite la produzione di ossigeno, l'assorbimento di nutrienti e l'azione fitodepurativa e in quanto luogo di rifugio, o se siano presenti a un livello tale da causare fenomeni di eutrofizzazione.

Interessante potrebbe essere studiare anche i livelli trofici superiori, in particolare quello ittico, ma anche le specie di uccelli che vivono e transitano nell'ambiente fluviale, per vedere se e come anch'essi siano influenzati dalla qualità dell'ecosistema acquatico, così come emerso per i macroinvertebrati dal lavoro di tesi e dagli studi esistenti.

Infine, un obiettivo da porsi sarebbe quello di poter utilizzare i diversi studi in ambito ecologico sui canali urbani per migliorare l'ambiente in cui viviamo, renderlo di qualità sempre più soddisfacente, favorire la biodiversità che in esso vive e i servizi ecosistemici che fornisce, nonché il valore paesaggistico, storico e ricreativo, magari fino a poter nuotare nei canali urbani della città come veniva fatto non molti decenni fa.

BIBLIOGRAFIA

- AcegasAps. 2011. «Programma di adeguamento degli sfiori della rete mista al sensi del piano di tutela delle Acque della Regione Veneto D.C.R.V. n. 107 del 5 novembre 2009. Studio di fattibilità.» Padova.
- Anderson M.J., Gorley R.N., Clarke K.R. 2008. *Permanova+ for Primer: Guide to Software and Statistical Methods*. Plymouth, UK: PRIMER-E Ltd.
- APAT, Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi tecnici, Istituto di Ricerca sulle Acque Consiglio Nazionale delle Ricerche IRSA-CNR. 2003. «Indice biotico esteso (I.B.E)». *Metodi analitici per le acque* 29/2003.
- ArpaV, Regione Veneto. 2015. *Monitoraggio degli elementi di qualità biologica dei corsi d’acqua del Veneto. Anno 2013. Relazione tecnica*. Padova.
- BECKMAN COULTER. 2022. *Instructions for Use. LS 13 320 XR Laser Diffraction Partice Size Analyzer*. <http://www.philips.com/ms>.
- Bonollo S.r.l., Infrastrutture spa Idroesse, Studio Galli Ingegneria spa SGI. 2006. *Relazione sul sistema fognario di padova. Aggiornamento Piano d’Ambito ATO Bacchiglione*.
- Buffagni A., Erba S. 2007a. «INTERCALIBRAZIONE E CLASSIFICAZIONE DI QUALITA ECOLOGICA DEI FIUI PER LA 2000/60/EC (WFD): L’INDICE STAR_ICMi». *IRSA-CNR Notiziario dei Metodi Analitici* 1: 94–100.
- Buffagni A., Erba S. 2007b. «MACROINVERTEBRATI ACQUATICI E DIRETTIVA 2000/60/EC (WFD) - PARTE A. METODO DI CAMPIONAMENTO PER I FIUMI GUADABILI». *IRSA-CNR Notiziario dei Metodi Analitici* 1: 2–27.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A., Ruffo S. 1994. *MANUALE PER IL RICONOSCIMENTO DEI MACROINVERTEBRATI DELLE ACQUE DOLCI ITALIANE VOL. I*. A cura di Provincia Autonoma di Trento.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A., Ruffo S. 1999. *MANUALE PER IL RICONOSCIMENTO DEI MACROINVERTEBRATI DELLE ACQUE DOLCI ITALIANE. VOL. II*. Provincia autonoma di Trento. Trento.

- Cason M., Dal Col M., Ragusa F., Tanduo I. 2023. «Stato delle acque superficiali del Veneto. Corsi d'acqua e laghi. Anno 2022. Rapporto tecnico». Padova.
- Clarke K.R., Gorley R.N., Somerfield P.J., Warwick R. M. 2014. «Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 3rd edition» Plymouth: PRIMER-E.
- Comel E., Barausse A., Mazzoldi C. 2023. «La biodiversità ittica dei canali di Padova e i suoi cambiamenti rivelati dalla conoscenza ecologica locale dei pescatori» *Galileo* 268: 41–47.
- Comune di Padova Assessorato all'Ambiente. 1997. *Padova e le sue acque*. A cura di Bioprogramm. Padova.
- Comune di Padova. 2022. *Ordinanza N. 12 del 02/08/2022*.
- Comune di Padova. 2023. *Ordinanza N. 23 del 30/6/2023*.
- Faccin A., Carrer G.M., Smania D., Palmieri L., Barausse A. 2023. «La qualità dell'acqua dei canali cittadini di Padova: l'impatto della fognatura mista in tempo asciutto e di pioggia». *Galileo* 268: 28–34.
- Fenoglio S., Bo T., Bona F., Ridolfi L., Vesipa R., Viaroli P. 2019. *Ecologia Fluviale*. Novara: UTET Università.
- IRSA-CNR. 2008. «DEFINIZIONE DELLO STATO ECOLOGICO DEI FIUMI SULLA BASE DEI MACROINVERTEBRATI BENTONICI PER LA 2000/60/EC (WFD): IL SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE MacrOper». *Notiziario dei Metodi Analitici*, 47–69.
- ISPRA. 2014. «PROTOCOLLO DI CAMPIONAMENTO E ANALISI DEI MACROINVERTEBRATI BENTONICI DEI CORSI D'ACQUA GUADABILI». *Manuali e linee guida* 111/2014.
- Kadlec R.H., Knight R. L. 1996. *TREATMENT WETLANDS*. Florida: CRC Press.
- Kriska, G. 2022. *Freshwater Invertebrates in Central Europe. A field Guide*. Cham: Springer.

- Magno M.C., Bergamin L., Pierfranceschi G., Venti F., Romano E. 2016. «Metodologie e strumentazione per l'analisi granulometrica dei sedimenti». *ISPRA, Istituto per la Protezione e la Ricerca Ambientale*.
- Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. 2008. *D.M. Ambiente del 16 giugno 2008, n.131. Allegato 1*.
- Moro I., Biasi M., Brentan M. 2023. «La flora dei canali del centro storico di Padova». *Galileo* 268: 35–40.
- Il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea. 2000. «Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque». *Gazzetta ufficiale delle Comunità Europee*.
- Pinato T., Ferrari R. 2010. «L'evoluzione del sistema idraulico padovano dal piano fossombroni ad oggi». *Padova e il suo territorio* 146, agosto:10–15.
- Roner M., D'Alpaos A., Ghinassi M., Marani M., Silvestri S., Franceschinis E., Realdon N. 2016. «Spatial variation of salt-marsh organic and inorganic deposition and organic carbon accumulation: Inferences from the Venice lagoon, Italy». *Advances in Water Resources* 93: 276–87. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.11.011>.
- Sansoni G. 2001. *Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani*. 4° edizione. Provincia autonoma di Trento.
- Sparks, T.H., e A. Menzel. 2002. «Observed Changes in seasons: an overview.» *International Journal of Climatology* 22: 1715–25. <https://doi.org/10.1002/joc.821>.
- Veronese F. 2023. «L'idraulica dei corsi d'acqua di Padova». *Galileo* 268: 14–18.
- Viaroli P. 2017. «I corsi d'acqua nell'Antropocene: processi e servizi ecosistemici, deterioramento e riqualificazione». *Biologia Ambientale* 31: 245–52.
- Zecchin L. 2023. «I canali urbani di Padova: da ostacolo alla modernizzazione ad opportunità di rigenerazione urbana». *Galileo* 268: 54–57.

SITOGRAFIA

ArpaV. 2023. «GeoPortale ARPAV: reticolo idrografico». <https://gaia.arpa.veneto.it/maps/270/view>.

COL | The Catalogue of Life. Consultato l'11 febbraio 2024. <https://www.catalogueoflife.org/>.

Cooperativa Sociale Piovego. 2022a. Post del 20 luglio 2022. Facebook. 2022. <https://www.facebook.com/CoopPiovego/posts/pfbid02dtVZz39xPr32>.

Cooperativa Sociale Piovego. 2022b. Post del 6 luglio 2022. Facebook. 2022. <https://www.facebook.com/CoopPiovego/posts/pfbid02bqo14KfkmHYSDVVMiuov2dv5pmT8idjaTY4HfoSrsL4TCkZU7uwLCSMd6ZwdE9EHI>.

Cooperativa Sociale Piovego. 2022c. Post del 26 giugno 2022. Facebook. 2022. <https://www.facebook.com/CoopPiovego/posts/pfbid0148zeVUnQe2LhMXXNDZJUq1ibhGCTrP18ehJEHLnCBinPpNfKdTfoBuge3iuGquQL>.

Natural Resources Conservation Service U.S. Departement of Agriculture. «Soil Texture Calculator». Consultato il 6 febbraio 2024. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>.

Padovanet. «Comunicato Stampa: emergenza siccità, costituita Unità di Crisi». 1 agosto 2022. Consultato l' 11 gennaio 2024 a. <https://www.padovanet.it/notizia/20220802/comunicato-stampa-emergenza-siccità-costituita-unità-di-crisi>.

Padovanet. «Dalle origini a Roma. Dalle leggende sulla fondazione da parte del mitico Antenore a Patavium città Romana» 20 maggio 2020. Consultato l' 11 gennaio 2024 b. <https://www.padovanet.it/informazione/dalle-origini-roma>.

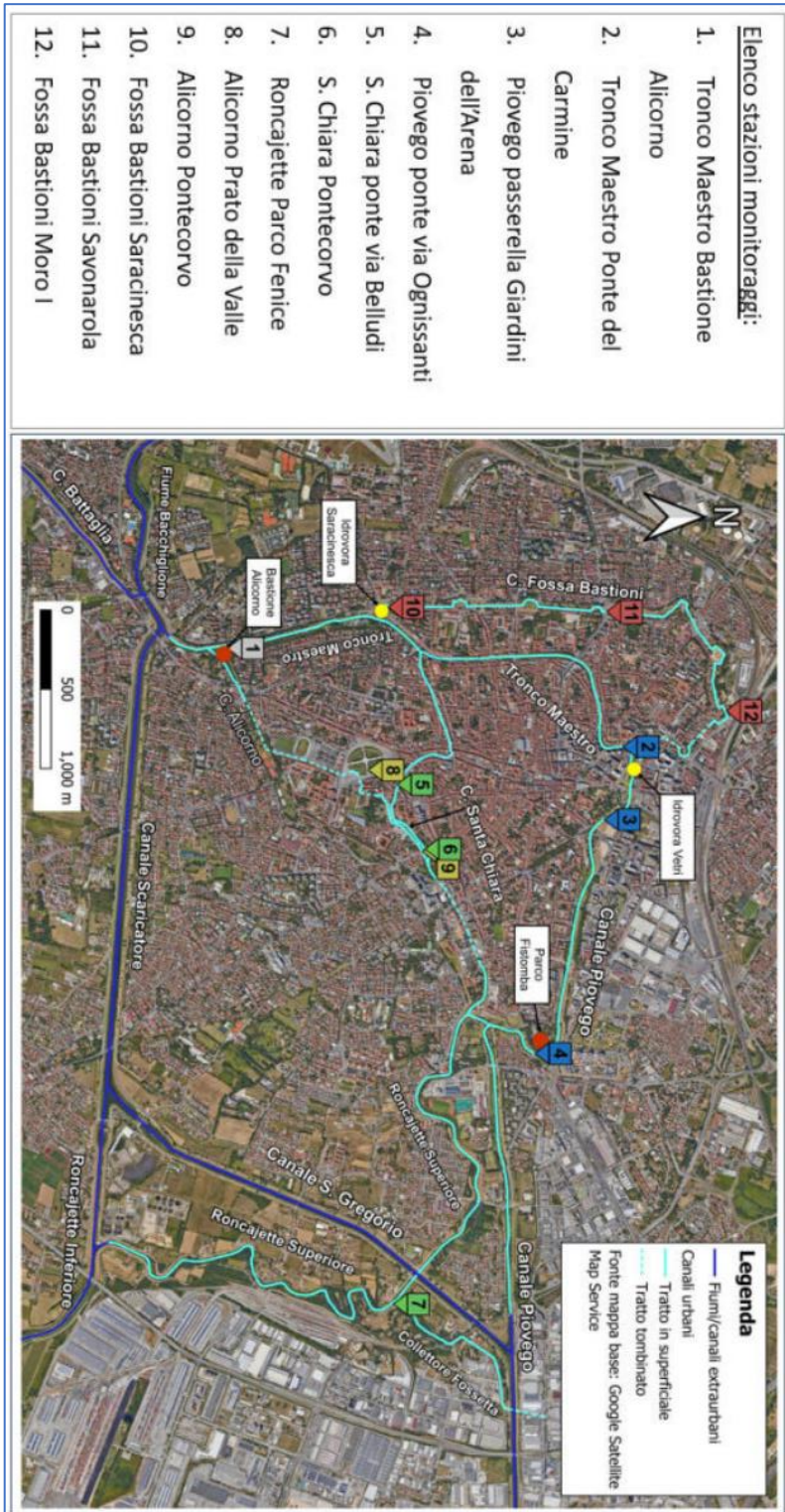
Università degli Studi di Padova. «History». Consultato l'11 gennaio 2024. <https://www.unipd.it/en/history>.

APPENDICE A

Repliche raggruppate in un unico campione	STAZIONE del campione
1 di 10	T
2 di 10	T
3 di 10	T
4 e 5 di 10	T
6 di 10	T
7 di 10	T
8 di 10	T
9-10 di 10	T
1 di 10	SC
2 e 3 di 10	SC
4-5-6 di 10	SC
7-8-9-10 di 10	SC
1 di 10	P
2 e 3 di 10	P
4 di 10	P
5 e 6 di 10	P
7 e 8 di 10	P
9 e 10 di 10	P

Appendice A: Raggruppamento delle 10 repliche di ogni stazione in campioni.

APPENDICE B



Appendice B Stazioni di monitoraggio della qualità dell'acqua, sui canali: Tronco Maestro-Piovego (segnaposto in blu), Fossa Bastioni (segnaposto in rosso), Santa Chiara, San Massimo e Roncajette Superiore (segnaposto in verde), Alicorno (segnaposto in grigio). Il segnaposto in grigio indica la stazione all'ingresso in città del Tronco Maestro. I cerchi in giallo indicano punti di scarico di Fossa Bastione nei canali Tronco Maestro e Piovego, mentre i cerchi in rosso sono i punti di installazione di campionatori automatici utilizzati durante eventi di pioggia. Immagine tratta da Faccin et al. 2023

APPENDICE C

CAMPIONE	Peso prima del trattamento (g)	Peso dopo il trattamento (g)	Differenza di peso prima e dopo il trattamento (g)
P1	17,89	17,50	0,39
P2	20,61	20,38	0,23
P3	21,39	21,09	0,30
T1	19,21	18,95	0,26
T2	22,41	22,09	0,32
T3	21,02	20,83	0,19
S1	30,02	29,91	0,11
S2	29,98	29,90	0,08
S3	30,28	30,17	0,11
SC	20,79	20,43	0,36
T+	29,69	29,32	0,37

Appendice C: Peso dei campioni di sedimento prima e dopo il trattamento con acqua ossigenata ed esametafosfato e differenza degli stessi.

APPENDICE D

<i>Group T</i>					
Average similarity: 72,62					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Baetidae	5,54	18,99	8,60	26,15	26,15
Chironomidae	4,82	16,74	9,25	23,05	49,21
Gammaridae	3,79	11,86	5,56	16,33	65,54
Hydracarina	2,02	5,14	1,70	7,08	72,62
Ancilydae	1,69	3,48	1,00	4,80	77,42
Physidae	1,15	2,89	1,49	3,97	81,40
Tubificidae	1,69	2,83	0,82	3,90	85,30
Hydroptilidae	1,43	2,66	0,92	3,67	88,96
Simuliidae	1,05	2,61	1,43	3,59	92,55
<i>Group P</i>					
Average similarity: 56,57					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Chironomidae	3,88	21,64	4,85	38,25	38,25
Viviparidae	2,76	14,17	4,48	25,05	63,30
Planorbidae	2,36	6,73	0,98	11,90	75,20
Tubificidae	2,26	5,65	0,77	9,98	85,19
Baetidae	1,12	2,92	0,78	5,15	90,34
<i>Group SC</i>					
Average similarity: 74,25					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Asellidae	5,68	13,76	9,64	18,54	18,54
Chironomidae	5,75	13,09	3,56	17,63	36,17
Erpobdellidae	3,46	7,88	8,91	10,62	46,79
Bithyniidae	2,84	6,67	5,27	8,98	55,77
Baetidae	3,29	6,02	2,62	8,11	63,88
Caenidae	2,58	5,99	10,43	8,06	71,94
Hydroptilidae	2,01	4,88	8,24	6,58	78,52
Hydracarina	2,16	4,39	3,08	5,91	84,42
Pisidiidae	2,10	4,31	6,84	5,81	90,23

Appendice D: : Output dell'analisi SIMPER, similarità intra-sito.

APPENDICE E

<i>Groups T & P</i>						
Average dissimilarity = 67,49						
Species	Group T Av.Abund	Group P Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Baetidae	5,54	1,12	10,55	2,59	15,63	15,63
Gammaridae	3,79	0,00	8,73	3,91	12,93	28,56
Viviparidae	0,00	2,76	6,25	5,21	9,26	37,82
Planorbidae	0,00	2,36	5,05	1,49	7,48	45,31
Hydracarina	2,02	0,00	4,63	1,95	6,86	52,17
Tubificidae	1,69	2,26	4,17	1,36	6,18	58,35
Ancilydae	1,69	0,23	3,59	1,49	5,32	63,67
Hydroptilidae	1,43	0,18	3,04	1,34	4,51	68,17
Naididae	1,33	0,71	2,89	1,16	4,28	72,45
Simuliidae	1,05	0,00	2,46	1,73	3,64	76,09
Chironomidae	4,82	3,88	2,40	1,24	3,55	79,64
Merithidae	0,93	0,00	2,24	1,07	3,32	82,96
Physidae	1,15	0,80	2,11	1,34	3,13	86,09
Palaemonidae	0,86	0,32	2,02	1,39	3,00	89,09
Coenagrionidae	0,00	0,71	1,50	1,35	2,23	91,31

<i>Groups T & SC</i>						
Average dissimilarity = 55,24						
Species	Group T Av.Abund	Group SC Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Asellidae	0,00	5,68	8,82	9,75	15,97	15,97
Erpobdellidae	0,00	3,46	5,32	8,35	9,63	25,60
Gammaridae	3,79	0,95	4,49	2,56	8,12	33,72
Bithyniidae	0,00	2,84	4,44	4,89	8,04	41,76
Caenidae	0,09	2,58	3,85	6,63	6,96	48,73
Baetidae	5,54	3,29	3,80	1,52	6,87	55,60
Pisidiidae	0,09	2,10	3,06	3,14	5,55	61,14
Ancilydae	1,69	0,35	2,39	1,37	4,33	65,47
Chironomidae	4,82	5,75	2,28	1,60	4,13	69,60
Tubificidae	1,69	2,21	2,21	1,56	4,00	73,60
Simuliidae	1,05	1,36	2,12	1,54	3,84	77,44
Naididae	1,33	0,45	1,92	1,23	3,47	80,92
Physidae	1,15	0,27	1,56	1,51	2,82	83,74
Hydroptilidae	1,43	2,01	1,54	1,28	2,79	86,53
Hydracarina	2,02	2,16	1,53	1,32	2,77	89,30
Palaemonidae	0,86	0,00	1,33	1,36	2,41	91,71

<i>Groups P & SC</i>						
Average dissimilarity = 73,56						
Species	Group P Av.Abund	Group SC Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Asellidae	0,12	5,68	10,50	5,40	14,27	14,27
Erpobdellidae	0,00	3,46	6,44	6,09	8,76	23,02
Bithyniidae	0,00	2,84	5,40	3,97	7,33	30,36
Viviparidae	2,76	0,00	5,16	4,50	7,02	37,38
Caenidae	0,00	2,58	4,82	6,44	6,55	43,93
Baetidae	1,12	3,29	4,31	1,44	5,86	49,78
Planorbidae	2,36	0,00	4,22	1,46	5,73	55,52
Chironomidae	3,88	5,75	4,03	1,39	5,47	60,99
Hydracarina	0,00	2,16	4,00	3,30	5,44	66,43
Hydroptilidae	0,18	2,01	3,45	3,21	4,70	71,13

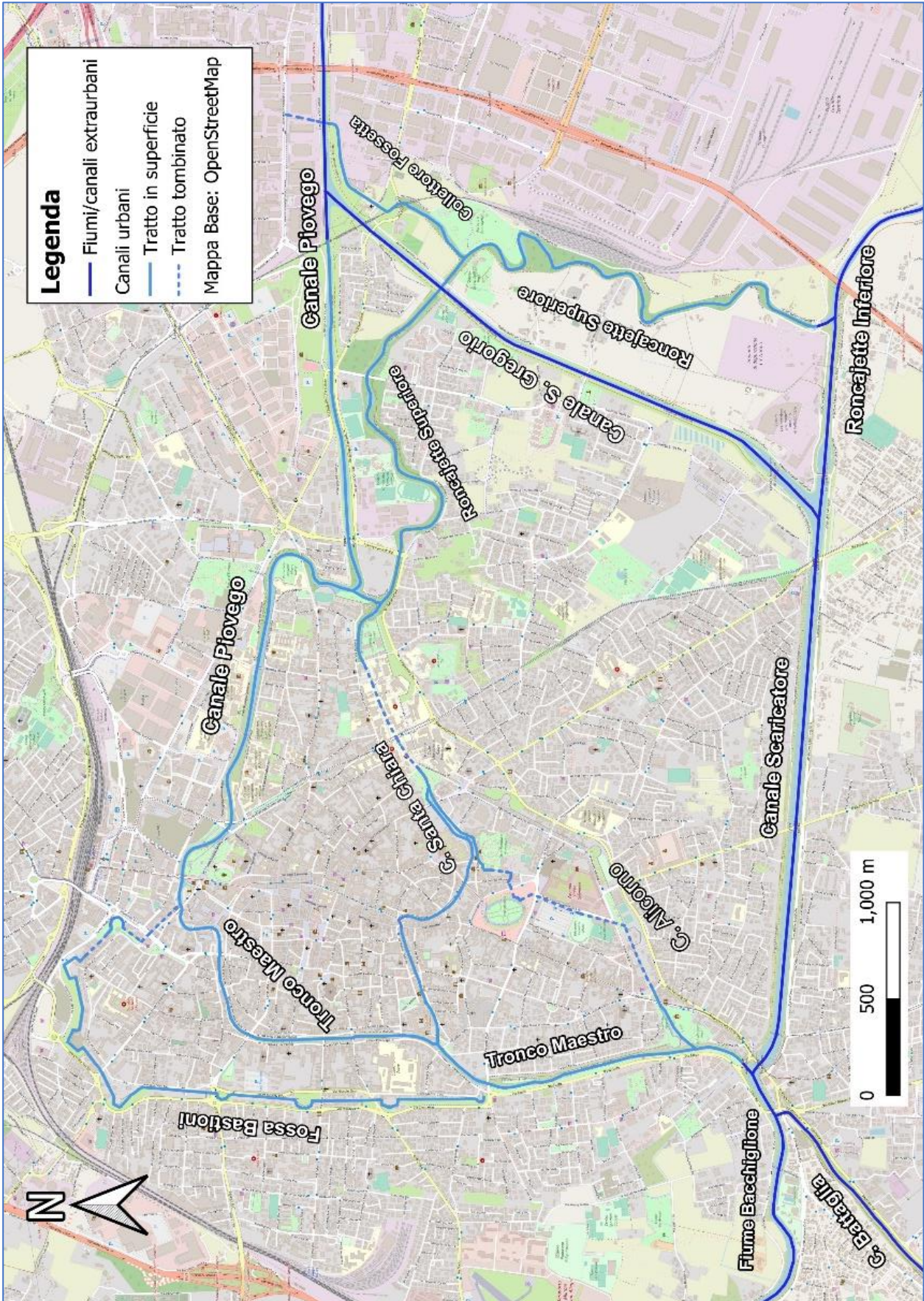
Appendice E: output dell'analisi SIMPER, confronto a coppie tra i tre siti

APPENDICE F

GRUPPO	FAMIGLIE RICONTRATE NEI SITI CAMPIONATI
Crostacei	Asellidae Gammaridae Palaemonidae
Gasteropodi	Ancilydae Bithyniidae Lymnaeidae Neritidae Physidae Planorbidae Valvatidae Viviparidae
Bivalvi	Corbiculidae Pisidiidae Unionidae
Oligocheti	Lumbricidae Naididae Tubificidae
Irudinei	Erpobdellidae Glossiphoniidae Piscicolidae
Acari	Hydracarina
Nematomorfi	Gordidae Mermithidae
Efemerotteri*	Baetidae Caenidae
Ditteri*	Ceratopogonidae Chironomidae Culicidae
Odonati*	Coenagrionidae
Eterotteri*	Corixidae
Coleotteri*	Haliplidae
Tricotteri*	Hydropsichidae Hydroptilidae Leptoceridae Sericostomatidae
Odonati*	Coenagrionidae

Appendice F: : Famiglie riscontrate nei siti di campionamento, suddivisi per taxa superiori. Gli elementi con asterisco appartengono alla Classe degli Insetti. Tabella realizzata con l'utilizzo delle chiavi dicotomiche (Sansoni 2001)

APPENDICE G



Appendice G: Mappa del reticolo idrografico di Padova. Realizzata da Alex Faccin (2023).

APPENDICE H

Schede¹⁶ relative alle principali Famiglie, per abbondanza numerica, di macroinvertebrati riscontrati nei campionamenti dei canali urbani di Padova.

ASELLIDAE

Phylum: Arthropoda

Classe: Malacostraca

Ordine: Isopoda

Famiglia: Asellidae

(COL | The Catalogue of Life 2024)

Gli asellidi sono l'unica famiglia di isopodi che vive nelle acque superficiali correnti (Sansoni 2001; Campaioli et al. 1994). Il corpo è composto di 7 segmenti visibili, schiacciato dorso-ventralmente. Le zampe, come in tutti gli isopodi, sono simili tra loro (Sansoni 2001) e permettono loro di camminare sul sedimento, mentre non sono in grado di nuotare. Possono raggiungere i 15 mm (Kriska 2022).

Le femmine possiedono un marsupio ventrale dove avviene lo sviluppo diretto degli embrioni (Sansoni 2001; Campaioli et al. 1994). In Italia si trovano i generi *Asellus* e *Proasellus* (Campaioli et al. 1994)

Alimentazione: animali detritivori (Sansoni 2001), si possono trovare anche in ambienti inquinati, in particolare da fonti organiche (Campaioli et al. 1994).

Habitat: prediligono acque stagnanti, ma si trovano anche in corsi d'acqua a corrente non veloce, nei microhabitat protetti e ricchi di detrito organico (Sansoni 2001).

Nei campionamenti effettuati nei canali urbani di Padova sono stati trovati quasi esclusivamente nel tratto fluviale Santa Chiara, dove erano molto numerosi tanto da costituire circa 1/3 del campione.



Figura a: individuo di Asellidae osservato sul campo



Figura b: esemplare di Asellidae

¹⁶ Foto realizzate da A. Voltolina. Dove non indicato diversamente, le foto sono state realizzate su individui campionati nei canali urbani di Padova.

GAMMARIDAE

Phylum: Arthropoda

Classe: Malacostraca

Ordine: Amphipoda

Famiglia: Gammaridae

(COL | The Catalogue of Life 2024)

Il corpo dei gammaridi, come quello di tutti gli anfipodi, è compresso lateralmente. Le prime quattro appendici del torace sono dirette in avanti, le altre due indietro. Il primo paio di appendici toraciche ha funzione prensile (Sansoni 2001; Campaioli et al. 1994). Caratteristico il telson in parte diviso in due lobi. Nelle acque superficiali italiane troviamo i generi *Gammarus* e *Echinogammarus* (Campaioli et al. 1994). Sono abili nuotatori (Sansoni 2001) e spesso superano i 10 mm di lunghezza (Kriska 2022).

Le femmine possiedono un marsupio nel quale avviene lo sviluppo diretto degli embrioni (Sansoni 2001; Campaioli et al. 1994).

Alimentazione: organismi detritivori, occasionalmente onnivori.

Habitat: acque a corrente non elevata, ricche di macrofite e alghe. Sono piuttosto resistenti all'inquinamento (Sansoni 2001; Campaioli et al. 1994)

Nei campionamenti effettuati questa famiglia è stata rilevata soprattutto nel Tronco Maestro, in numerosità significativa, rappresentando più del 10% del campione. Pochi individui erano presenti nel sito Santa Chiara.



Figura c: esemplare di Gammaridae



Figura d: esemplare di Gammaridae

BAETIDAE

Phylum: Arthropoda

Classe: Insecta

Ordine: Ephemeroptera

Famiglia: Baetidae

(COL | The Catalogue of Life 2024)

La Famiglia Baetidae appartiene all'ordine degli Efemerotteri, insetti a metamorfosi incompleta che allo stadio larvale vivono nell'ambiente acquatico (Campaioli et al. 1994). Le larve di questa famiglia sono nuotatrici, con corpo cilindrico idrodinamico e sono in grado di vivere anche a correnti sostenute (Sansoni 2001).

Alimentazione: detritivori ed erbivori, occasionalmente carnivori predatori (Sansoni 2001).

Habitat: acque ferme e correnti, tollerano livelli anche piuttosto alti di inquinamento organico (Campaioli et al. 1994).

La Famiglia Baetidae rappresenta più della metà degli individui campionati nel tratto fluviale del Tronco Maestro (54%), dove risultano molto abbondanti, mentre negli altri due siti la loro presenza è contenuta.



Figura e: esemplare di Baetidae



Figura f: esemplare di Baetidae

CHIRONOMIDAE

Phylum: Arthropoda

Classe: Insecta

Ordine: Diptera

Famiglia: Chironomidae

(COL | The Catalogue of Life 2024)

I Chironomidi sono una famiglia di ditteri, insetti olometaboli che in forma larvale e pupale vivono in ambiente acquatico, mentre gli adulti sono terrestri (Campaoli et al. 1999). Le larve hanno corpo cilindrico caratterizzato dall'assenza di arti. Possiedono invece quattro pseudopodi pari, due anteriori e due posteriori (Sansoni 2001; Campaoli et al. 1999). Alcune specie si proteggono all'interno di fragili tubi che costruiscono con fango e una seta da loro prodotta, dove muovendosi favoriscono il flusso di acqua che trasporta verso di loro ossigeno e particelle di cibo (Kriská 2022). La lunghezza può variare dai 3 ai 30 mm (Campaoli et al. 1999).

Alimentazione: per lo più algivori o detritivori (Campaoli et al. 1999).

Habitat: piuttosto ubiquitari, alcune specie sono molto resistenti agli inquinanti e possono resistere a basse concentrazioni di ossigeno disciolto (Sansoni 2001), tanto da formare focolai infestanti in ambienti degradati (Campaoli et al. 1999).

La Famiglia Chironomidae è stata rilevata numerosa in tutti e tre i siti oggetto di studio, in particolare nel Santa Chiara dove rappresenta il 50% del campione e nel Piovego (40%), sempre piuttosto abbondante ma in misura inferiore sul Tronco Maestro (25%).



Figura g: esemplare di Chironomidae. Individuo di campioni del laboratorio di Ecologia Fluviale dell'Università di Torino

TUBIFICIDAE

Phylum: Anellida

Classe: Clitellata

Sottoclasse: Oligochaeta

Ordine: Tubificida

Famiglia: Tubificidae

(COL | The Catalogue of Life 2024; Kriska 2022)

I tubificidi sono sottili oligocheti in grado di raggiungere i 20 cm di lunghezza (Kriska 2022). La loro classificazione si basa principalmente sulle setole: sigmoidi a punta bifida, maggiori di due, talvolta accompagnate da setole capillari (Sansoni 2001).

Alimentazione: detritivori (Sansoni 2001).

Habitat: questi animali vivono nel fango, all'interno di tubi che costruiscono utilizzando il sedimento stesso e una secrezione mucosa. Si trovano frequenti in acque molto inquinate e con abbondante materiale organico (grazie anche all'emoglobina) (Kriska 2022) ad esempio a valle di scarichi fognari (Fenoglio et al. 2019).

La Famiglia Tubificidae risulta piuttosto abbondante nel sito Piovego (17% degli individui totali) e poco rappresentata negli altri due siti.



Figura h: esemplare di Tubificidae



Figura i: esemplare di Tubificidae

PLANORBIDAE

Phylum: Mollusca

Classe: Gasteropoda

Famiglia: Planorbidae

(COL | The Catalogue of Life)

Gli individui della Famiglia Planorbidae, gasteropodi polmonati, sono caratterizzati (con alcune eccezioni) da una conchiglia a spirale piana. In quanto polmonati, sono in grado in situazioni di anossia di mettere in atto la respirazione aerea, spostandosi in superficie. (Sansoni 2001)

Alimentazione: in quanto gasteropodi d'acqua dolce sono demolitori, si nutrono soprattutto di detrito vegetale che raschiano grazie alla radula (Sansoni 2001).

Habitat: prediligono acque ferme o a scorrimento lento, con densa vegetazione (Kriská 2022)

Durante i campionamenti nei canali urbani di Padova la Famiglia Planorbidae è stata rilevata abbondante nel tratto fluviale esaminato del canale Piovego (19% degli individui del campione), mentre risulta assente nelle altre stazioni.



Figura j: esemplare di Planorbidae



Figura k: esemplare di Planorbidae

VIVIPARIDAE

Phylum: Mollusca

Classe: Gasteropoda

Famiglia: Viviparidae

La Famiglia Viviparidae appartiene al gruppo dei prosobranchi. La conchiglia è piuttosto grande, può raggiungere i 5 cm di lunghezza, ed è caratterizzata da bande a spirale di colore marrone scuro. Il guscio degli individui giovani possiede file longitudinali di corte sporgenze, simili a peli, che si diminuiscono con l'età (Kriská 2022; Sansoni 2001).

Alimentazione: in quanto gasteropodi d'acqua dolce sono demolitori, si nutrono soprattutto di detrito vegetale ma possono avere una dieta mista (alghe, microrganismi etc.). Il genere *Viviparus* è anche filtratore (Sansoni 2001).

Habitat: vivono in acque stagnanti o a lento scorrimento (Sansoni 2001).

Dei tre siti presi in considerazione nel reticolo idrografico di Padova, sono stati rilevati solamente nel canale Piovego, dove risultano piuttosto abbondanti, rappresentando il 15% del campione.



Figura a: esemplare di Viviparidae



Figura m: Viviparidae



Figura n: Viviparidae

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio innanzitutto il mio relatore, il professor Alberto Barausse, per avermi seguito con costanza e pazienza in questi mesi. Un ringraziamento va al professor Stefano Fenoglio, dell'Università di Torino, per avermi ospitata nel suo laboratorio; alla Dottoranda Anna Marino e a tutti i componenti del team, che mi hanno accolta e trasmesso le loro conoscenze sul mondo dei macroinvertebrati.

Un ringraziamento va ai tecnici dei laboratori di Ingegneria e della Stazione Idrobiologica, il Dottor Marco Carrer e il Dottor Mattia Panin, dell'Università di Padova, che mi hanno affiancato durante le analisi e al Dottor Paolo Comandini per il supporto nelle analisi statistiche. Grazie anche alle Dottoresse del Dipartimento di Qualità dell'Ambiente dell'ArpaV di Padova: Alessia Lea, Ornella Siciliano, Elisa Campaci, Roberta Locatelli, per il prezioso sostegno tecnico nella classificazione dei macroinvertebrati.

Un grande ringraziamento va al Dottor Alex Faccin, per avermi seguito costantemente durante questi 12 mesi supportandomi, guidandomi e trasmettendomi le sue conoscenze. Grazie anche a tutte le persone che in varia misura (tra cui quella operativa) hanno contribuito a questo lavoro di tesi, in particolare a Riccardo Dalla Bona e alla Dottoressa Sara Pacchini. Vorrei poi ringraziare tutti coloro che mi hanno supportato (e sopportato), durante questo percorso universitario: grazie a mia madre e a mio padre, che da sempre mi hanno guidata, agevolata e incoraggiata nelle difficoltà, lasciandomi la libertà di trovare la mia strada. Grazie a tutti gli amici che hanno sempre avuto fiducia in me, mi hanno sostenuto e sempre mi hanno regalato momenti di leggerezza quando ero più "in confusione", in particolare: Angela, Sara P, Matteo. Un grande ringraziamento va ad Alessandro, che mi ha instancabilmente incoraggiata in questi due anni di Magistrale, supportata (e sopportata) nei momenti di maggiore sconforto, ha sempre creduto nelle mie capacità e all'occorrenza si è dimostrato un ottimo "collega".

Infine, vorrei ringraziare la città di Padova, che con i suoi canali, scorci paesaggistici, artistici e la sua energia mi ha accolto e ha fatto da sfondo in questi anni di percorso universitario.