

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**

FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE ED ALIMENTARI  
CORSO DI LAUREA IN VALORIZZAZIONE E TUTELA DELL'AMBIENTE  
E DEL TERRITORIO MONTANO



**STUDIO DEL POPOLAMENTO  
A CHIRONOMIDI (*DIPTERA, CHIRONOMIDAE*),  
LOCALITÀ SANT'APOLLONIA - PONTE DI LEGNO (BS)**

**Candidato:**

Matteo Guerrini, matr. 798563

**Relatore:** Dott. Matteo Montagna

**Correlatore:** Prof. Bruno Rossaro

Anno Accademico 2014/2015



# INDICE

## RIASSUNTO

### 1. INTRODUZIONE E FINALITA' DEL TIROCINIO

### 2. CARATTERISTICHE DEI TORRENTI ALPINI E BIOMONITORAGGIO

#### 2.1. Inquadramento geografico

#### 2.2. Tipologie di torrenti

#### 2.3. Elementi di ecologia fluviale

##### 2.3.1. Il fiume come sistema depurante

#### 2.4. Analisi qualità delle acque tramite bioindicatori

#### 2.5. Legislazione italiana: WFD

### 3. BIOINDICATORI FLUVIALI: I CHIRONOMIDI

#### 3.1. Macroinvertebrati alpini

#### 3.2. Biologia dei chironomidi

#### 3.3. Caratteristiche biomorfologiche

### 4. MATERIALI E METODI

#### 4.1. Localizzazione siti di raccolta

#### 4.2. Metodi di campionamento

### 5. RISULTATI

#### 5.1. Risultati ottenuti

#### 5.2. Ecologia dei principali generi censiti

6. CONCLUSIONI

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

8. RINGRAZIAMENTI

## RIASSUNTO

In questa tesi viene analizzata la fauna delle acque interne in località Sant'Apollonia (BS), alta Vallecamonica, al fine di valutarne la condizione attuale ed evidenziarne eventuali cambiamenti in un confronto con dati raccolti alla fine degli anni '70.

L'analisi è stata condotta utilizzando indicatori biologici, ovvero specie animali o vegetali, particolarmente sensibili alle modificazioni ambientali e/o climatiche.

Vista la tipologia dell'ambiente in esame, come bioindicatori sono state scelte le specie di macroinvertebrati acquatici appartenenti alla famiglia delle *Chironomidae*: la varietà di specie, nonché la loro composizione quantitativa, forniscono preziose informazioni circa lo stato ecologico dell'ecosistema, al di là di una semplice indagine sulle variabili fisiche e chimiche.

I campionamenti sono stati effettuati nel 2014, con cadenza settimanale nei mesi di marzo, aprile, agosto e settembre, evitando i mesi di maggio, giugno e luglio quando i corsi d'acqua a causa dello scioglimento delle nevi sono in piena e non favoriscono la colonizzazione da parte dei Chironomidi e più in generale di tutta la fauna macroinvertebrata; la scelta dei siti da analizzare è ricaduta su di un torrente, affluente di sinistra del Frigidolfo, ed una sorgente naturale situata nella medesima vallata.

Effettuando il prelievo, sono stati utilizzati retini "da drift" in piena corrente ed un retino immanicato per scandagliare i fondali; al momento della raccolta è stata fatta una prima cernita visiva prelevando gli esemplari di maggiori dimensioni che sono stati fissati sul posto in etanolo assoluto; successivamente i campioni, conservati in barattoli da 500 ml in formalina al 4%, sono stati inviati in laboratorio per l'analisi tramite microscopio ottico e stereo microscopio. L'analisi tassonomica delle specie è avvenuta con l'aiuto di letteratura specialistica.

In totale sono stati raccolti 359 esemplari appartenenti a 25 specie, appartenenti a 15 generi. Di queste, 7 specie sono state trovate in entrambi i siti, mentre le altre hanno quasi sempre mostrato preferenza per uno solo dei due habitat. Si fa l'esempio di *Diamesa incallida* e *Psectrocladius psilopterus*, che hanno manifestato selezione per l'ambiente sorgivo, mentre *Diamesa cinerella* ed *Orthocladius rivicola* sono stati rinvenuti solo nelle acque correnti.

Le specie più abbondanti sono risultate essere *Orthocladius frigidus* (93 esemplari), *Diamesa tonsa* (34), *Orthocladius rivicola* (30), *Diamesa cinerella* (30), *Cricotopus fuscus* (27), *Eukiefferiella minor* (26) e *Paratrichocladius skirwithensis* (24).

Al termine delle valutazioni specifiche e numeriche, i risultati sono stati confrontati con i dati pregressi appartenenti al periodo tra il 1978 e il 1981, per osservare l'andamento cronologico delle diverse specie e rilevare eventuali cambiamenti significativi.

Nonostante i pochi dati a disposizione ed il ridotto intervallo di tempo considerato, si possono fare alcune considerazioni:

- il considerevole calo numerico delle popolazioni di *Diamesa incallida* e *Paratrichocladius skirwithensis*, tipiche di ambienti alpini caratterizzati da basse temperature, induce a ritenere che l'ambiente in cui vivono stia subendo un processo di surriscaldamento progressivo;
- il contemporaneo aumento di specie ubiquitarie, ovvero adatte a colonizzare un più ampio spettro di ecosistemi, meno esigenti per ambiente e temperatura, come *Orthocladius frigidus*, sottolinea come il riscaldamento globale manifesti i suoi effetti anche degli ambienti fluviali alpini, determinando una inequivocabile quanto allarmante perdita in nicchie ecologiche e di biodiversità.

Le informazioni fin qui ottenute suggeriscono di proseguire i monitoraggi negli anni futuri su di un maggior numero di siti, al fine di supportare ulteriormente queste conclusioni e sensibilizzare maggiormente l'opinione pubblica alla gravità del problema.

## 1. INTRODUZIONE E FINALITA' DEL TIROCINIO

L'attività di tirocinio si prefigge di raccogliere campioni biologici di individui appartenenti alla famiglia *Chironomidae*, appartenente all'ordine dei ditteri, sufficienti a ricoprire un'annualità completa, per poi confrontarli con i dati in archivio di una raccolta avvenuta negli anni '70, al fine di rilevarne una possibile variazione.

Le raccolte sono state effettuate in due siti nella località di sant'Apollonia (Ponte di Legno) in alta valle Camonica (BS), tramite retini da *drift* e immanicati, nel periodo primaverile e in quello tardo-estivo del 2014.

Oltre ai campioni biologici, sono stati misurati diversi parametri chimico-fisici dell'acqua (pH, temperatura, salinità, conducibilità elettrica), per avere una panoramica completa sull'ecosistema studiato. Gli organismi censiti sono per lo più allo stadio larvale e pupale, poiché lo stadio immaginale (adulto) vive al di fuori dell'ambiente acquatico.

Durante lo svolgimento del tirocinio sono state acquisite conoscenze in ambito di entomologia sistematica generale e specialistica dei ditteri chironomidi; inoltre si sono apprese le tecniche elementari per la raccolta sul campo di macroinvertebrati e successivamente la loro manipolazione ed analisi al fine di identificarli a livello specifico.

## 2. CARATTERISTICHE DEI TORRENTI ALPINI E BIOMONITORAGGIO

### 2.1 Inquadramento geografico

Le Alpi costituiscono una delle zone più importanti della regione biogeografica alpina europea. Il territorio compreso si estende per un totale di 190912 km<sup>2</sup>, di cui il 27,5 % in territorio italiano. Di questa superficie, il 44 % è coperto da boschi di latifoglie e conifere, il 21 % da arbusti e prati, e il 16,5 % è costituito da superfici non boscate (fonte: <http://www.alpconv.org>).

Il clima alpino subisce l'influsso di diversi fattori, quali l'aria mite ed umida proveniente dall'Atlantico, il vento polare da nord, l'aria calda dal Mediterraneo e la massa d'aria continentale proveniente dall'Asia, che si presenta fredda e secca in inverno, calda in estate (OECD, 2007). A loro volta le Alpi esercitano una notevole influenza sui vari climi locali: si rilevano infatti notevoli differenze a livello di temperature e precipitazioni tra territori a seconda delle diverse caratteristiche fisiche e geomorfologiche. Le temperature rilevate a gennaio nelle vallate vanno mediamente dai -5 °C agli 8 °C, mentre nel mese di luglio i valori si attestano tra i 15 °C e i 24 °C (OECD, 2007). In autunno e inverno, inoltre si verificano spesso fenomeni di inversione termica fino ai circa 1000 metri di altitudine, mentre al di sopra le temperature tendono nuovamente a calare. Per quanto riguarda le precipitazioni, il settore svizzero e austriaco registra valori inferiori al versante alpino occidentale, maggiormente esposto all'umidità proveniente dall'Atlantico. Le coperture nevose in genere si mantengono, in quote non inferiori ai 2000 metri, dalla metà di novembre, fino alla fine di maggio.



## 2.2 Tipologie di torrenti

I torrenti alpini sono per lo più di dimensioni ridotte, scorrono lungo ripidi pendii e sviluppano spesso un moto piuttosto turbolento, dovuto all'elevata velocità e a letti prevalentemente rocciosi. Durante l'arco dell'anno questi corsi d'acqua variano di molto la propria portata, a causa dell'apporto di acqua proveniente dallo scioglimento nivale e glaciale dei mesi più caldi. Questo porta a importanti fenomeni di erosione e deposito, che mutano in continuazione il profilo dell'alveo. La vegetazione riparia che affianca i torrenti montani è costituita per lo più da piante erbacee e arbusti.

Esistono tre tipologie di corsi d'acqua alpini, correlati alla provenienza delle acque che li alimentano: torrenti glaciali, torrenti nivali e torrenti di origine sotterranea (Ward, 1994).

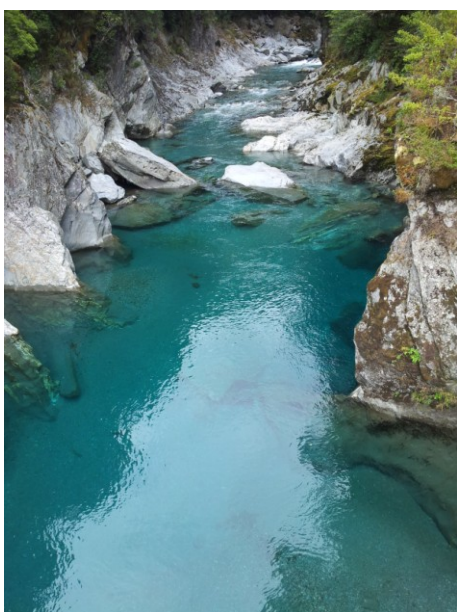
I corsi di origine glaciale sono caratterizzati da temperature attorno agli 0 °C per tutto l'anno, con valori che raramente raggiungono i 4 °C (Ward, 1994). A seconda della quantità di detrito trasportata, le acque possono presentarsi limpide o torbide; secondo alcune teorie, grandi quantitativi di materiale in sospensione proverrebbero solo da ghiacciai "attivi" recentemente (Ward, 1994). La popolazione vegetale acquatica è rappresentata da poche alghe e briofite, mentre il genere *Diamesa* (ditteri, *Chironomidae*) è, tra gli invertebrati, quello maggiormente rappresentato. A quote inferiori si possono trovare Ephemeropterici, Plecopterici e Tricotteri (Lencioni, 2004; Füreder, 2007). Pesci e plancton sono solitamente assenti in questa tipologia di torrente.

I ditteri della famiglia *Chironomidae*, così come *Tipulidae*, *Cucilidae*, *Empipidae* e *Limonidae* sono adattati a condizioni di temperature estreme e di continue variazioni ambientali, sviluppando capacità di resistenza e resilienza (Lencioni, 2004; Füreder, 2007).

Infine, i torrenti glaciali presentano scarsità di risorse trofiche, soprattutto nei tratti iniziali, in cui mancano i produttori primari: in queste porzioni pare che gli organismi si nutrano di particelle trasportate dal vento (frammenti vegetali, carcasse d'insetti, polline, semi, spore) (Kawecka et al., 1978).

I torrenti che si originano dallo scioglimento delle nevi scorrono al di sotto della linea delle nevi perenni con acque ad alto contenuto di sali minerali, presentano maggiori portate nel periodo estivo e la temperatura dell'acqua nella stagione calda è solitamente compresa tra i 5 °C e i 10 °C. La vegetazione acquatica è composta da briofite, Bacillarofite (es. diatomee), Clorofite e Cianofite, mentre zoologicamente sono rappresentati quattro ordini di insetti (Efemerotteri, Plecotteri, Tricotteri e Ditteri), Nematodi, Oligocheti, Turbellari e Acaridi; talvolta sono presenti specie ittiche autoctone appartenenti alle famiglie dei Salmonidi, Ciprinidi e Cobiti.

I torrenti alimentati da acque sotterranee possono originare in diverse forme di sorgente: reocrene, quando l'acqua emersa genera subito un ruscello ad acque veloci; limnocrene, se l'acqua emerge in una depressione formando una pozza; elocrene, qualora l'acqua fuoriesca dal terreno in maniera dilazionata e diffusa su un'ampia superficie creando una zona paludosa (Cantonati et al., 2006). Le caratteristiche fisico-chimiche si mantengono relativamente costanti: acque ben ossigenate, temperature che non variano più di 1 o 2 °C, durante l'anno, nei pressi della sorgente, e portata pressoché stabile. Queste condizioni si rivelano molto favorevoli allo sviluppo di specie animali e vegetali, qui infatti proliferano anche muschi e varie comunità algali (es. *Hydrurus foetidus*), mentre i chironomidi costituiscono la principale componente faunistica (soprattutto genere *Diamesa*).



### 2.3 Elementi di ecologia fluviale

Il fiume, come ambiente, costituisce una componente fondamentale all'interno dell'ecosistema: oltre a movimentare e distribuire acqua all'interno del territorio, favorisce la formazione di numerosi microambienti necessari alla conservazione della biodiversità. Numerose ricerche hanno evidenziato come l'habitat fluviale presenti forti connessioni e continui interscambi con l'ambiente circostante, che non si limita strettamente alla striscia di vegetazione riparia, ma consiste in un'ampia fascia ecotonale costellata di piccoli rilievi e depressioni alternate da una vasta gamma tipologica di zone umide: alvei secondari, stagni, acquitrini, paludi, aree inondabili, boschi igrofili. Ciò comporta una vasta distribuzione di microambienti che fungono da fasce tampone per i nutrienti ed allo stesso tempo sono insostituibili basi d'appoggio per lo sviluppo di numerose specie animali che qui si riproducono, allevano i propri piccoli, o sostano durante le migrazioni. I corsi d'acqua sono dunque una successione di ecosistemi "aperti" (dotati cioè di interconnessioni trofiche, flussi di materia ed energia) non solo in senso longitudinale, ma anche in relazione con l'ambiente terrestre che si sviluppa intorno ad essi. Lungo il percorso tracciato dai fiumi, cambiano anche diversi parametri fisici (temperatura, illuminazione, pendenza, velocità della corrente, granulometria del substrato, nutrienti, sostanza organica, gas disciolti, salinità, trasparenza, pH, ecc. ) e, conseguentemente, anche le popolazioni vegetali e animali.

Nei corsi d'acqua montani, la vegetazione riparia impedisce agli organismi primari fotosintetici di proliferare, rendendo il metabolismo dell'ecosistema essenzialmente eterotrofico, ovvero l'energia per lo sviluppo vitale viene fornita principalmente dall'esterno, sotto forma di detriti organici come foglie, rami, alberi abbattuti, ma anche resti di animali morti. In questo ambiente la struttura della comunità è dominata da organismi trituratori e collettori, soprattutto invertebrati, mentre i pascolatori sono poco rappresentati, come conseguenza alla scarsa disponibilità di risorse alimentari

(alghe e muschi). Procedendo verso valle, nei fiumi di media grandezza, la componente luminosa si fa più importante, aumentando il fenomeno della fotosintesi e rendendo il sistema autotrofo, ovvero autosufficiente nella produzione di energia; in questo tipo di ambiente aumentano in maniera netta gli organismi pascolatori a scapito dei trituratori, mentre i collettori continuano ad abbondare nutrendosi delle particelle organiche prodotte dai trituratori più a monte. Infine nei grandi fiumi, la luce continua a raggiungere la superficie, ma la torbidità delle acque limita notevolmente la fotosintesi, riportando le condizioni ad eterotrofiche.

La naturale tendenza a mantenere i flussi energetici a livelli stabili, porta ad un adeguamento stagionale da parte delle specie presenti che variano alternandosi nell'arco dell'anno e modificano a seconda della disponibilità le loro preferenze alimentari.

### 2.3.1 Il fiume come sistema depurante

La sostanza organica che finisce in un corso d'acqua, viene da subito aggredita da numerosi microrganismi, tra i quali funghi e batteri, che svolgono il ruolo di demolitori primari producendo detriti più piccoli e sostanze assimilabili anche da organismi più complessi come i vegetali. La principale azione di pulizia delle acque viene svolta da comunità microscopiche di funghi, batteri, amebe, ciliati, nematodi, microalghe, gastrotrichi, tardigradi, che insieme formano il più comunemente detto perifiton, ovvero il sottile strato mucillaginoso che riveste i ciottoli presenti sul greto del fiume.

Questa aggregazione rappresenta la principale fonte di nutrimento per un secondo sistema depurante, composto per lo più da macroinvertebrati (crostacei, molluschi, vermi, larve di varie specie), che favorisce il rinnovamento delle popolazioni microscopiche, mantenendole costantemente attive, e ne contrasta la proliferazione, contribuendo alla stabilità dell'ecosistema fluviale. Le specializzazioni alimentari dei macroinvertebrati sono numerose: li si può suddividere in macro e micro filtratori, trituratori di materiale organico sospeso o sul fondale, erbivori succhiatori e brucatori,

spazzolatori e raschiatori di perifiton, predatori, parassiti, detritivori. Inoltre questi organismi hanno sviluppato adattamenti ai molti microambienti che si formano nel fiume e intorno ad esso. Ulteriore impulso alla pulizia delle acque viene fornito dai vertebrati (pesci, anfibi, rettili, mammiferi, uccelli) che si nutrono dei macroinvertebrati acquatici.

Poiché ad ogni passaggio interno ad una catena alimentare circa il 10 % dell'energia viene utilizzata per la produzione di biomassa, mentre il restante 90 % viene trasformato in anidride carbonica, ogni organismo che ne fa parte risulta fondamentale per la riduzione della sostanza organica, che viene man mano decimata. Il processo di ripulitura ha quindi grande importanza anche per quanto concerne alcuni inquinanti di provenienza antropica i quali, seppur limitatamente vengono "tamponati", ed in questo compito, fondamentale è anche l'integrità dell'ambiente terrestre circostante, dove i microrganismi proliferano e la vegetazione intercetta le acque di dilavamento dei versanti, inducendo la sedimentazione di detriti e inquinanti. Ciò comporta il mantenimento di acque limpide e contrasta il processo di eutrofizzazione attivato da grandi quantità di fosforo e azoto.

#### **2.4 Analisi qualità delle acque tramite bioindicatori**

Per verificare il buono stato di un ecosistema fluviale non è sufficiente svolgere un'analisi sui parametri chimico-fisici dell'acqua in esso contenuta o dell'aria circostante: i campioni ottenuti in questo caso avrebbero valenza limitata al tempo e al luogo di raccolta; se si volessero raggiungere risultati attendibili tramite questa metodologia, bisognerebbe infatti disporre di una mole di campioni tale da rendere le operazioni di analisi lunghe, dispendiose ed in alcuni casi controproducenti. Inoltre per valutare le condizioni ambientali, bisognerebbe tener conto di innumerevoli fattori e variabili.

La disciplina del biomonitoraggio punta ad eludere questa problematica; propone infatti di sfruttare dei bioindicatori naturali, che consentono, tramite la propria presenza e distribuzione, di capire la tipologia di ambiente

analizzato e le eventuali problematiche derivanti da cause naturali o antropiche.

Un indicatore biologico, o bioindicatore, è un organismo usato per valutare una modificazione della qualità dell'ambiente, ovvero è un bersaglio biologico che subisce variazioni apprezzabili del proprio stato naturale, come risposta ad uno stress naturale.

I macrovertebrati bentonici possono essere utilizzati come strumento di valutazione dei corpi idrici, sono raccomandati per stimare la qualità dell'acqua perché offrono svariati vantaggi (Rosenberg & Resh, 1993): sono ubiquitari e sono influenzati dai cambiamenti ambientali, l'ampia varietà di specie offre un ampio spettro di risposte a stimoli ambientali, hanno vita sedentaria quindi permettono di valutare fattori inquinanti e di disturbo a livello spaziale, ed infine hanno un ciclo vitale piuttosto lungo che consente un controllo continuo sulle acque. Impatti antropici come presenza di strutture, scarichi fognari e industriali hanno una ricaduta diretta sulle popolazioni biologiche, dal punto di vista strutturale e biologico (Rosenberg & Resh, 1993). I macroinvertebrati sono anche indicatori di eutrofizzazione (O'Toole et al., 2008), acidificazione (Sniffer, 2007), presenza di sostanze tossiche (Schäfer et al., 2007).

La temperatura e la presenza d'ossigeno sono tra i principali fattori che influenzano i cicli vitali di questi insetti (Rossaro, 1991; Tokeshi, 1995). Laddove l'ambiente è di elevata qualità, la struttura delle comunità di macroinvertebrati si presenta complessa e diversificata, le specie sono numerose ed in equilibrio tra loro.

## **2.5 Legislazione italiana: WFD**

La "Water Framework Directive" (dir. 2000/60/EC), resa ufficiale nell'ottobre 2000, ha lo scopo di ottenere una gestione sostenibile delle risorse idriche, regolandone gestione, uso, protezione e ripristino, in modo da stabilizzarne le condizioni su valori accettabili e prevenire ulteriori deterioramenti. Questa

direttiva riordina le precedenti, troppo frammentarie, ridefinendo le competenze in merito ad amministrazione e gestione delle acque. La WFD chiede che le condizioni ecologiche dei corpi idrici siano valutati tramite elementi biologici, come microrganismi, pesci, flora e fauna bentonica, creando quindi un nuovo metodo di classificazione che possa evidenziare cambiamenti nelle popolazioni biologiche e nell'ecosistema, dovuti ad impatti antropici. La direttiva definisce la condizione di "buono stato ecologico", in base a tre parametri complementari: la qualità biologica, la qualità chimica e la qualità morfologica; prima della redazione della 2000/60, la qualità delle acque era valutata esclusivamente per la finalità di utilizzo antropico, senza considerare la componente biologica. Per quanto concerne il monitoraggio in Italia, attualmente viene utilizzato il metodo di riferimento STAR\_ICMi (*"Standardisation of river classifications: Framework method for calibrating different biological survey results against ecological quality classifications to be developed for the Water Framework Directive"*), che valuta la qualità ecologica dei corsi d'acqua tramite le comunità macrobentoniche presenti.

### 3. BIOINDICATORI FLUVIALI: I CHIRONOMIDI

#### 3.1 Macroinvertebrati alpini

Il territorio alpino presenta un'ampia varietà di specie riconducibili alla famiglia dei chironomidi, in particolare nei corsi d'acqua alimentati dai ghiacciai (Ward, 2002). Di particolare interesse biologico, risultano alcune specie, che si sono evolute riuscendo a colonizzare le zone limitrofe alle bocche dei ghiacciai, in condizioni estremamente avverse, come le temperature prossime allo zero, l'elevata velocità della corrente, e la pressoché totale anossia (assenza di ossigeno): in questi ambienti si sviluppano quasi unicamente individui del genere *Diamesa*, specie stenoecie che tempo fa si ritenevano rlegate in piccole nicchie localizzate, mentre studi più recenti hanno ridimensionato la loro distribuzione, scoprendo che sono riuscite a migrare perfino superando importanti barriere naturali quali montagne e acque calde (Rossaro, 1995).

A fianco dei Chironomidi, nei corsi d'acqua montani, si possono incontrare altri macroinvertebrati bentonici, prevalentemente appartenenti agli ordini dei Ditteri, Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri (Maiolini & Lencioni, 2002): degni di nota sono i Simulidi, ditteri nematoceri ed ematofagi che passano il proprio stadio larvale in acque correnti, dove aderiscono a pietre, rocce, alghe, tramite due organi adesivi (uno dorsale ed uno toracico) e una soluzione salivare, filtrando l'acqua e trattenendo le particelle organiche; gli Efemerotteri sono caratterizzati dalla brevissima sopravvivenza dello stadio adulto, le ninfe e i neanidi si nutrono di alghe e detriti vegetali per poi spesso divenire parte integrante della dieta di molti organismi carnivori come i pesci; i Plecotteri sono insetti acquatici che prediligono acque correnti fredde, pulite ed ossigenate, qui cercano rifugio dove la corrente è meno forte, sotto le pietre e nelle insenature, questi insetti sono molto sensibili all'inquinamento, quindi sono indice di buona qualità idrica; i Tricotteri sono



presenti in tutti i tipi di acque correnti, le loro larve producono una sostanza proteica con cui fabbricano astucci misti a detriti in cui si rifugiano in caso di minacce e la loro dieta si basa su frammenti organici che recuperano scandagliando il fondale.

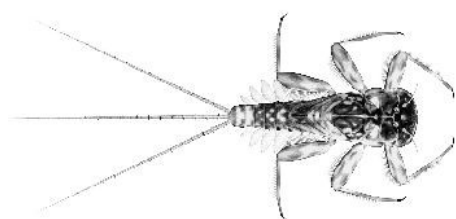
**Figura 3.1:** .a: larva di simulide; .b: efemerottero adulto; c. neanide di plecoterro; d. neanide di tricottero



.a



.b



.c



.d

### 3.2 Biologia dei chironomidi

*Chironomidae* è una famiglia d'insetti appartenente all'ordine dei Ditteri, sottordine Nematoceri, alla quale appartiene la maggior parte delle specie di macroinvertebrati presenti negli habitat superficiali ad acqua dolce.

Questi insetti sono adattati a numerosi ambienti acquatici e semi-acquatici, come suolo, vegetazione viva o marcescente, liquami.

A livello mondiale sono state identificate circa 3700 specie, suddivise in 11 sottofamiglie, che si stima rappresentino il 30 % del totale (Ashe *et al.*, 1987).

In Italia si contano tra le 400 e le 500 specie appartenenti a cinque sottofamiglie: *Tanypodinae*, *Diamesinae*, *Prodiamesinae*, *Orthoclaadiinae* e *Chironominae* (Lencioni *et al.*, 2007).

Morfologicamente sono molto simili alle comuni zanzare (*Diptera*, *Culicidae*), ma da esse si distinguono per la presenza di un apparato boccale succhiatore non pungente (non sono, infatti, ematofagi) e per il minor numero di nervature alari.

I chironomidi sono utili bioindicatori per il monitoraggio degli ecosistemi ripari e lacustri poiché ubiquitari, molto sensibili alla minima variazione ambientale e grazie al loro breve ciclo vitale; la sensibilità di talune specie a sostanze inquinanti, consente inoltre di verificare la qualità delle acque tramite censimenti dei vari stadi larvali (Rosenberg, 2005).

La diffusione capillare delle numerose specie è dovuta principalmente all'ampio spettro evolutivo, sviluppato di fronte a numerose limitazioni ambientali: ne sono un esempio alcune specie del genere *Chironomus*, le quali colonizzano fondali e detriti in notevole carenza di ossigeno.

**Figura 3.2:** *Chironomide adulto*



### 3.3 Caratteristiche biomorfologiche

I chironomidi sono insetti olometaboli, ossia durante il ciclo vitale compiono metamorfosi completa passando per diversi stadi larvali e per lo stadio pupale, in cui l'insetto non si nutre; il risultato sarà un adulto (immagine) morfologicamente molto diverso dalla larva.

Tutta la fase giovanile si svolge in ambiente acquatico:

➤ Uovo.

La deposizione da parte delle femmine adulte avviene sulle rive principalmente in autunno e in primavera, con covate di migliaia di esemplari, immersi in una matrice gelatinosa che consente l'ancoraggio a substrati stabili.

➤ Larva.

Alla schiusa le larve sono in forma planctonica e vi rimangono per un breve periodo fluttuando nella corrente; successivamente raggiungono il fondale, dove talvolta si fabbricano un astuccio di detriti e seta che funge da riparo. La larva è apoda, sottile e cilindrica, lunga tra i 10 e i 30 mm; il corpo è suddiviso in 13 segmenti (3 toracici e 10 addominali), è privo di spiracoli tracheali e porta due paia di pseudopodi, rispettivamente sul protorace (primo segmento) e sull'ultimo urite, che terminano in corone di uncini, necessari per l'ancoraggio. Le colorazioni variano, in funzione della specie, dal grigio giallastro al giallo bruno, al violetto, all'arancione, al rosso, al verde (Ferrarese & Rossaro, 1981); il colore rosso è tipico delle specie la cui emolinfa contiene emoglobina: queste, tipicamente bentoniche, sfruttano, infatti, la notevole capacità di trasporto dell'ossigeno di questo pigmento, per colonizzare ambienti altamente anossici, come fondali di acque salmastre. Le larve sono sedentarie e si muovono solo se minacciate da predatori o per cercare un luogo più adatto alle proprie esigenze; si nutrono principalmente di detriti e di minuscole diatomee. Le condizioni ideali per lo sviluppo larvale si collocano tra i 18°C e i 25°C, ma esse possono sopravvivere anche a temperature che

raggiungono i 4°C o i 40°C (Boesso, 2011); per quanto riguarda il pH, invece, il range adeguato è tra i valori 6,0 e 9,0, anche se esistono limitate specie adattate a tollerare un pH di 2,8 (Boesso, 2011).

Gli stadi larvali sono 4 per tutte le sottofamiglie, eccetto le *Tanypodinae*, che ne completano 5.

➤ Pupa.

Questa fase dura da poche ore a qualche giorno e corrisponde alla metamorfosi vera e propria: la larva s'ingrossa nella parte anteriore per dare spazio allo sviluppo di zampe, antenne ed ali dell'insetto adulto; la pupa si riempie rapidamente di aria per spostarsi verso la superficie, dove completerà la mutazione, lasciandosi poi alle spalle il vecchio esoscheletro, anche detto exuvia.

➤ Adulto.

A maturità raggiunta, avviene lo sfarfallamento e l'insetto adulto vola in cerca di un partner con cui accoppiarsi; se le condizioni di temperatura e umidità sono ottimali, numerosi esemplari completano il ciclo in sincronia formando vasti sciame esclusivamente maschili, che si muovono in cerca di femmine sviluppate.

Un insetto può deporre anche 2 o 3 volte nella sua vita e quest'azione occupa dai 20 ai 30 minuti.

Lo stadio immaginale è lungo da 1 a 14 mm, alato e possiede antenne lunghe, piumose nei maschi e moniliformi nelle femmine; ha vita breve, che raramente supera le poche settimane.

La maggior parte delle specie compie una o due generazioni l'anno ma, soprattutto nelle zone polari, può accadere che necessitino anche 7 anni per completarne una sola, mentre in zone particolarmente adatte possono anche svilupparsi 5-7 generazioni ogni 365 giorni.

Alle nostre latitudini si trovano specie univoltine, che prediligono la primavera, e altre bivoltine, che emergono una volta in primavera e una in autunno.

**Figura 3.3: larva (.a) e pupa (.b) di chironomide**



.a



.b

## 4. MATERIALI E METODI

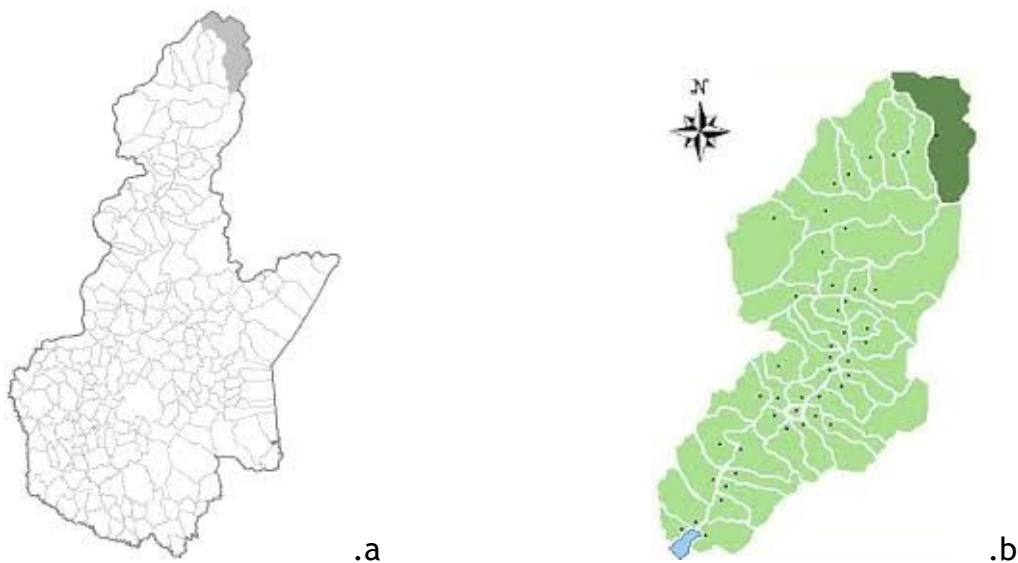
### 4.1 Localizzazione siti di raccolta

L'attività di campionamento è avvenuta in due siti poco distanti tra loro, individuati rispettivamente in un torrente e in una sorgente naturale, entrambi affluenti del Frigidolfo, il quale, unendosi al Narcanello, dà vita al fiume Oglio.

La vallata che li ospita è situata in alta valle Camonica, nel comprensorio comunale di Ponte di Legno, a circa 1850 metri s.l.m., ai piedi del passo Gavia, dove la provincia di Brescia confina con quella di Sondrio.

La scelta dei luoghi di campionamento è ricaduta su questi siti al fine di analizzare le popolazioni di chironomidi, nella quasi totale assenza di impatto umano sulle acque del bacino idrico interessato: i primi insediamenti si trovano infatti a diversi chilometri più a valle.

**Figura 4.1:** localizzazione Ponte di legno .a: in provincia di Brescia; .b in valle Camonica



## 4.2 Metodi di campionamento

Per la raccolta dei campioni, che si è svolta nella primavera e tarda estate del 2014, si è fatto riferimento al metodo IBE, che consiste nel posizionamento di un retino, anche detto da *drift*, all'interno dell'alveo interessato, in modo tale che questo si ritrovi all'interno di una sezione di fiume in cui la corrente è forte e costante: se l'operazione è corretta, il retino rimarrà in tensione, grazie al flusso d'acqua continuo che lo attraversa, per tutte le tre ore necessarie al completamento del campione. Affinché il retino non venga trascinato dalla corrente, è necessario ancorarlo, tramite una fune, ad un supporto stabile (es. tronco di un albero, roccia sporgente). Per una migliore riuscita è consigliabile filtrare la maggior percentuale possibile della sezione trasversale al flusso, in modo da ricoprire i diversi microhabitat. Al termine delle tre ore, si recupera il retino e si trasferisce il suo contenuto su di un vassoio su cui avverrà la prima fase di smistamento e raccolta. In alternativa al retino da *drift*, si può utilizzare un retino immanicato che va fatto scorrere manualmente con l'orlo inferiore a contatto del fondale, in modo da raccogliere in breve tempo gli stadi larvali intrappolati nel sedimento; anche in questo caso il retino va poi ripulito dal materiale solido raccolto, per una prima analisi in vassoio. Per questo passaggio è necessario scandagliare lentamente con delle pinzette morbide, il sedimento prelevato con una piccola aggiunta di acqua, per rilevare le piccole larve o pupe da estrarre e porre in un campione da 1-2 ml di etanolo assoluto (gli individui conservati in questo modo, consentono l'estrazione del DNA durante le successive analisi in laboratorio). I residui dei campioni vengono poi versati in contenitori di plastica ben chiusi, alternativamente in soluzione di etanolo al 70 % o in soluzione acquosa con poche gocce di formaldeide al 10%.

**Figura 4.2:** *messa in corrente del retino da drift*



**Figura 4.3:** *utilizzo del retino immanicato*





**Figura 4.5:** estrazione del campione dal retino da drift



**Figura 4.6:** analisi macroscopica del campione sul luogo di raccolta



**Tabella 4.4:** *materiale necessario per svolgere l'attività di campionamento*

- Retini da *drift* in numero equivalente ai siti da analizzare; dimensioni: bocca circolare in ferro del diametro di 35 cm associata ad una rete a maglie di 225-300  $\mu\text{m}$ .
- Un retino immanicato da fondo a struttura rigida con bordi rinforzati per lo scorrimento sul fondale; dimensioni: bocca quadrata di 55x55  $\text{cm}^2$  e rete a maglie di 225-300  $\mu\text{m}$ .
- Vassoi di dimensioni non inferiori a 30x30 cm
- Pinzette morbide
- Barattoli richiudibili in plastica della capacità non inferiore a 500 ml
- Fialette "falcon" per il prelievo di campioni d'acqua
- Campioni in plastica da 1-2 ml
- Etanolo assoluto
- formaldeide

## 5. RISULTATI

### 5.1 Risultati ottenuti

Durante lo svolgimento del tirocinio, sono stati effettuati 11 campionamenti nel periodo tra marzo e settembre 2014; le uscite hanno avuto cadenza settimanale nei mesi di marzo, aprile, agosto e settembre, quando i chironomidi mostrano la propria massima vitalità.

Nella tabella 5.1 sono riportate le caratteristiche dei siti di campionamento: data del prelievo, toponimo, tipologia, temperatura dell'acqua, orario del prelievo e condizioni meteorologiche. Le temperature sono relative al momento della messa in corrente dei retini.

**Tabella 5.1:**

<b>data raccolta</b>	<b>località</b>	<b>tipologia</b>	<b>temp. acqua (°C)</b>	<b>orario</b>	<b>meteo</b>
21/03/2014	Sant'Apollonia	torrente	10,94	11.30	sole
21/03/2014	Sant'Apollonia	sorgente	9,72	11.00	sole
04/04/2014	Sant'Apollonia	torrente	10,83	9.30	sole
04/04/2014	Sant'Apollonia	sorgente	12,5	9.00	sole
11/04/2014	Sant'Apollonia	torrente	5,2	10.45	sole
11/04/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7	10.30	sole
23/04/2014	Sant'Apollonia	torrente	5,3	11.10	sole
23/04/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7,1	10.50	sole
06/05/2014	Sant'Apollonia	torrente	5,4	11.05	sole
06/05/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7,2	10.50	sole
18/08/2014	Sant'Apollonia	torrente	8	11.25	nuvoloso
18/08/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7,5	11.05	nuvoloso
21/08/2014	Sant'Apollonia	torrente	6,3	12.15	sole
21/08/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7,2	12.00	sole
25/08/2014	Sant'Apollonia	torrente	6,5	11.00	nuvoloso
25/08/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7,4	10.45	nuvoloso
01/09/2014	Sant'Apollonia	torrente	5,9	11.00	pioggia
01/09/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7	10.45	pioggia
05/09/2014	Sant'Apollonia	torrente	5,8	11.10	pioggia
05/09/2014	Sant'Apollonia	sorgente	7,1	10.50	pioggia

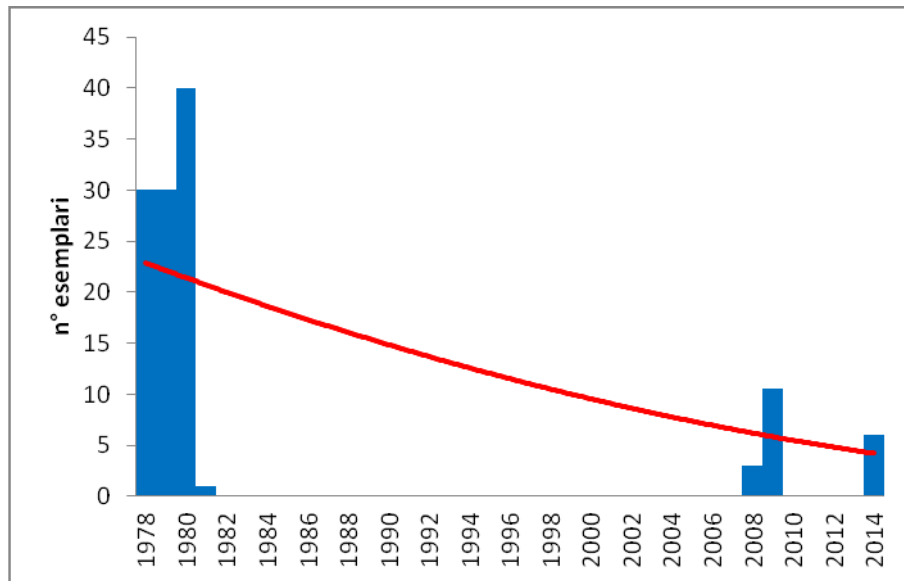
In totale durante i campionamenti sono stati raccolti 359 esemplari appartenenti a 25 specie riconducibili a 15 generi diversi. Dalla tabella 5.2 si può notare come alcune specie, seppur numerose, siano state rinvenute solo in uno dei due siti scelti, a dimostrazione del fatto che sorgente e ruscello rappresentano nicchie trofiche differenti, nonostante la ridotta distanza spaziale: acqua ferma o corrente, temperature poco o molto variabili e vegetazione presente possono incidere notevolmente sullo spettro zoologico.

**Tabella 5.2:** *specie raccolte e relativa abbondanza nei due siti: sorgente (sorg), ruscello (rusc)*

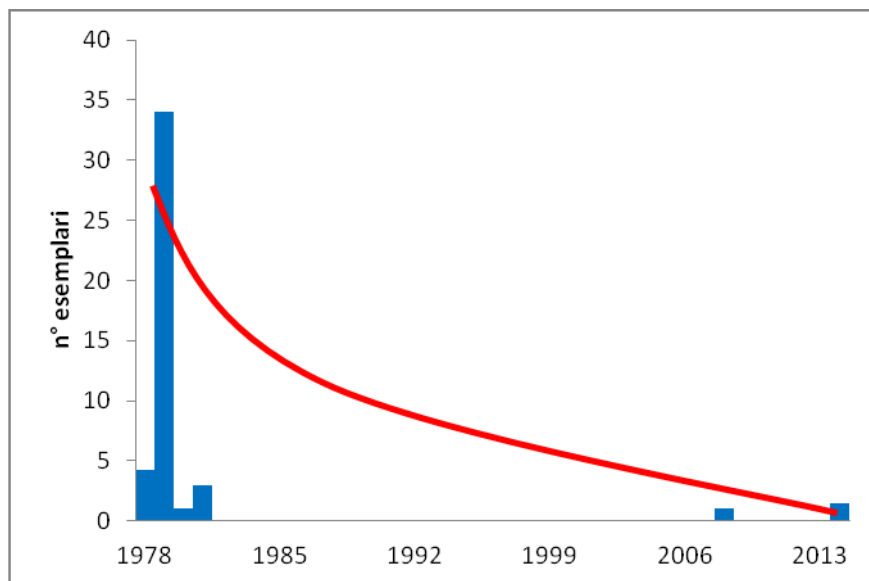
<b>SPECIE</b>	<b>n° esemplari</b>	<b>luogo di raccolta</b>
<i>Chaetocladius suecicus</i>	2	rusc
<i>Cricotopus fuscus</i>	27	sorg/rusc
<i>Diamesa cinerella</i>	30	rusc
<i>Diamesa incallida</i>	12	sorg
<i>Diamesa modesta</i>	2	rusc
<i>Diamesa tonsa</i>	34	sorg/rusc
<i>Diamesa zernyi</i>	17	sorg/rusc
<i>Eukiefferiella fuldensis</i>	7	rusc
<i>Eukiefferiella minor</i>	26	sorg/rusc
<i>Eukiefferiella tirolensis</i>	7	rusc
<i>Heterotrissocladius marcidus</i>	1	sorg
<i>Macropelopia fittkaui</i>	4	sorg
<i>Metriocnemus hygropetricus</i>	1	rusc
<i>Micropsectra atrofasciata</i>	1	sorg
<i>Micropsectra radialis</i>	4	rusc/sorg
<i>Orthocladius frigidus</i>	93	sorg/rusc
<i>Orthocladius rivicola</i>	30	rusc
<i>Paratanytarsus austriacus</i>	5	sorg
<i>Paratrichocladius skirwithensis</i>	24	sorg/rusc
<i>Psectrocladius psilopterus</i>	13	sorg
<i>Pseudodiamesa branickii</i>	1	rusc
<i>Tvetenia bavarica</i>	6	rusc
<i>Tvetenia calvescens</i>	6	rusc
<i>Zavrelimyia barbatipes</i>	6	sorg

Osservando l'andamento delle raccolte dal 1978 al 2014, si rilevano notevoli variazioni in abbondanza tra le specie più esigenti: in particolare è evidente un calo numerico tra le popolazioni tipiche di ambienti alpini freddi, come *Diamesa incallida* (figura 5.3), frequente in sorgenti montane, e *Paratrichocladus skirwithensis* (figura 5.4).

**Figura 5.3:** popolazione di *Diamesa incallida* tra 1978 e 2014.



**Figura 5.4:** popolazione di *Paratrichocladus skirwithensis* tra 1978 e 2014.



Al contrario le specie ubiquitarie o meno esigenti hanno mantenuto valori stabili, talvolta perfino registrando un aumento consistente, come conseguenza al calo di competitori meno tolleranti. Ne è un esempio *Orthocladius frigidus* (figura 5.5), specie adattata pressoché a tutti gli ambienti acquatici montani.

Figura 5.5: popolazione di *Orthocladius frigidus* tra 1978 e 2014.

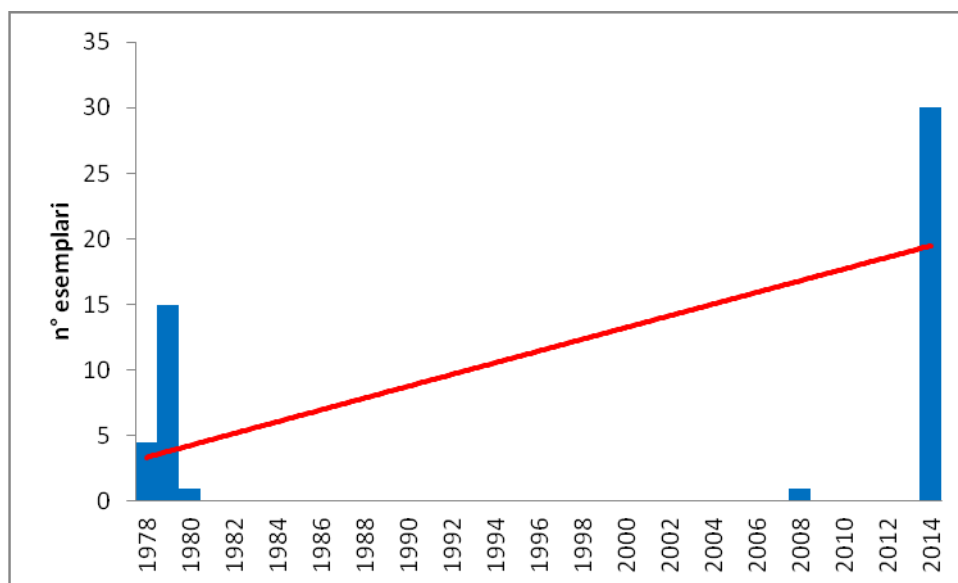
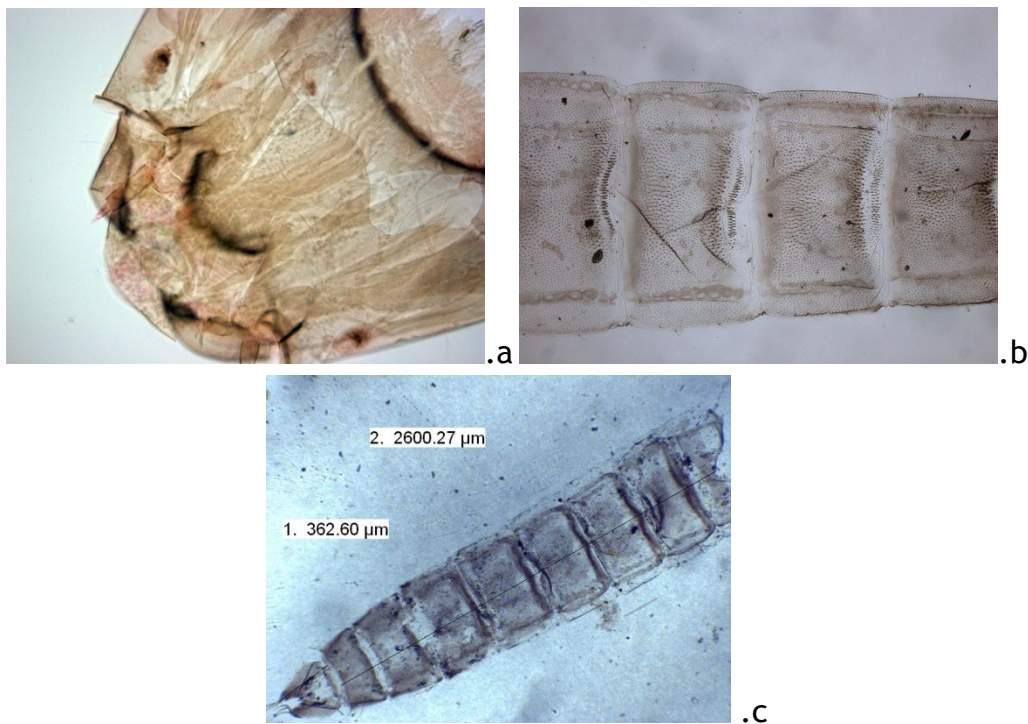


Figura 5.6: .a: testa di *D. incallida*; .b: addome di *P. skirwithensis*; .c: addome di *O. frigidus*.



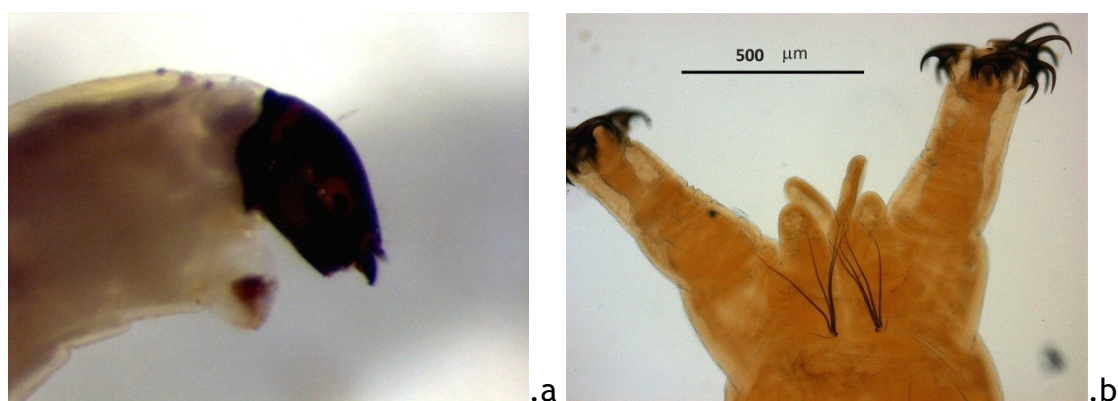
## 5.2 Ecologia dei principali generi censiti

### *Diamesa*

Genere che predilige i torrenti alto-montani, dove anche le temperature estive si mantengono al di sotto dei 4°C. Sono specie di particolare attenzione *D. latitarsis* e *D. steinboeckii*, le quali sono in grado di colonizzare ambienti acquatici molto freddi, perfino ai confini dei ghiacciai, dove si superano di poco gli 0°C. Altre specie, come *D. Dampfi*, sono tipiche delle sorgenti fredde (Rossaro, 2006). Come adattamento ai diversi ambienti colonizzati, le larve di *Diamesa*, hanno sviluppato diversi accorgimenti, che gli consentono di proliferare nella maggior parte degli habitat ad acque dolci superficiali. Ad esempio, alcune specie presentano degli pseudopodi molto allungati per facilitare l'adesione al substrato roccioso e contrastare la corrente, altre

possiedono delle estroflessioni simili ad unghie utilizzate per aggrapparsi al fondale, infine qualche specie costruisce astucci con particelle sabbiose aggregate tramite bava, per proteggersi da corrente e predatori (Maiolini & Lencioni, 2002). Inoltre molte di queste larve si stabiliscono preferibilmente nelle piccole depressioni che si trovano sulla superficie dei ciottoli per evitare di essere danneggiate in caso di rotolamento in alveo dei ciottoli stessi. Si conoscono oltre 100 specie, diffuse principalmente nell'emisfero boreale, ma anche nelle zone montuose dell'Africa.

Figura 5.7: testa (.a) e pseudopodi posteriori (.b) di *D. tonsa*



#### *Pseudodiamesa*

Le larve di *Pseudodiamesa* popolano le acque delle sorgenti, dei torrenti e dei laghi, incluse le profondità dei laghi oligotrofici (come i laghi alpini, poveri di sostanze organiche disciolte). Nei torrenti non glaciali si trova spesso la *P. branickii*, particolarmente abbondante tra i muschi e le alghe (Maiolini & Lencioni, 2002). Il genere *Pseudodiamesa* è diffuso in tutto l'emisfero boreale e nella regione Orientale.

#### *Tvetenia*

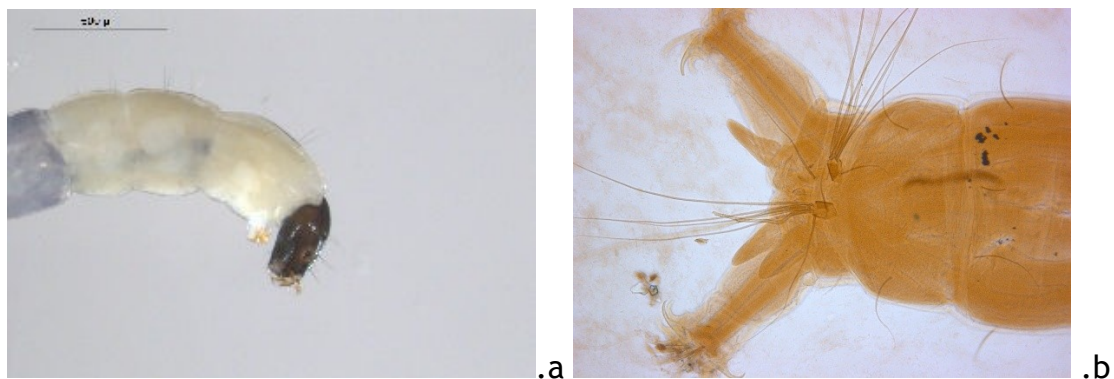
Le larve di *Tvetenia*, si distinguono dalle simili *Eukiefferiella* per le lunghe setole presenti sul corpo e per i procerci ben sviluppati. Le larve di *Tvetenia* popolano le acque correnti in tutto l'emisfero boreale, nella zona afrotropicale e nelle regioni orientali.



### *Eukiefferiella*:

Le larve di *Eukiefferiella* abitano quasi esclusivamente ambienti lotici ad acqua corrente. Sono tipicamente euritermi, anche se alcune specie sono circoscritte alle acque montane più fredde. Il genere è presente in tutte le regioni biogeografiche, tranne America centro-meridionale ed Antartide.

**Figura 5.8:** .a: larva di *E. minor*; .b: pseudopodi di *Eukiefferiella*



### *Orthocladius*

Le larve di *Orthocladius* si trovano in tutti i tipi di habitat acquatici dell'emisfero settentrionale. Non sono stati confermati ritrovamenti al di fuori di questa regione. Generalmente le specie sono più varie ed abbondanti in acque correnti, ma *O. eudactylocladius* popola acque d'infiltrazione tra le rocce, acque temporanee e terreni umidi, mentre *O. pogonocladius* si trova in laghi e stagni.

### *Paratrichocladius*

Le larve di questo genere si trovano in tutti i tipi di acque, ma soprattutto in acque correnti fredde. Alcune specie riescono a tollerare elevate concentrazioni saline ed elevati carichi organici. Il genere si trova in tutto il mondo, fatta eccezione per l'Antartide.

## 6. CONCLUSIONI

Dai campionamenti svolti durante il 2014, che hanno portato a censire esemplari appartenenti a 25 specie, nonostante una complessiva stabilità mantenuta dalle specie più diffuse tra il 1978 ed oggi, sono emerse alcune significative differenze. Ad esempio, osservando l'andamento delle diverse popolazioni durante gli anni, si deduce chiaramente che le specie più esigenti in termini di temperatura? hanno col tempo lasciato sempre maggiore spazio ad altre ubiquitarie o tipiche di ambienti più temperati.

Inoltre, confrontando i periodi di campionamento alle specie trovate, si ha la netta sensazione che lo sviluppo delle specie primaverili vada anticipandosi, contemporaneamente ad un posticipo nelle raccolte autunnali. Una possibile spiegazione di quanto sopra potrebbe risiedere nel progressivo aumento dello scioglimento glaciale annuale, che comporterebbe un ampliamento del periodo *off-limits* per i macroinvertebrati, quando le temperature dell'acqua sono troppo basse.

Nelle Alpi, l'entità del riscaldamento atmosferico è stata stimata ad un livello superiore al doppio rispetto alla media globale, relativa agli ultimi 50 anni (D'Agata & al., 2013). Da notare sono le popolazioni di *Diamesa incallida* e *Paratrichocladus skirwithensis*, tipiche di ambienti freddi, che hanno subito un ridimensionamento fino ad un decimo rispetto al 1978.

In futuro sarebbe necessario approfondire l'indagine nella località di Sant'Apollonia effettuando un maggior numero di campionamenti e su periodi più ampi, per avere un quadro più chiaro sull'entità e gli eventuali effetti del cambiamento climatico.

## 7. BIBLIOGRAFIA

BOESSO V., 2011 - Ditteri (Zanzare, Simulidi, Chironomidi, Mosche) - Guida pratica per la biologia, classificazione, controllo chimico e biologico dei Ditteri - [www.disinfestazione.it/sapere/ditteri/chironomidi](http://www.disinfestazione.it/sapere/ditteri/chironomidi).

LENCIONI V., LAZZARA M., 2006 - I chironomidi subfossili (Diptera, Chironomidae) del Lago di Tovel (Trentino, Alpi centro-orientali): uno sguardo agli ultimi 400 anni - *Suppl. 2*: 155-165.

ROSSARO B., BOGGERO A., LENCIONI V., MARZIALI L., 2006 - *Chironomids* from Southern Alpine running waters: ecology, biogeography - C.N.R.-Institute for Ecosystem Study (ISE) - *Hydrobiologia*: 231-246.

WARD J.V., 1994 - Ecology of alpine streams - *Freshwater Biology*: 277-294.

ONIDA M., MORANDINI M., SCHLOSSER H., 2009 - Convenzione delle Alpi - Le Alpi otto paesi, un solo territorio: 28-96 - <http://www.alpconv.org>.

OECD, 2007 - Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management.

FÜREDER L., 2007 - Life at the Edge: Habitat condition and bottom fauna of Alpine running waters - *International Review of Hydrobiology*: 491-513.

LENCIONI V., 2004 - Survival strategies of freshwater insects in cold environments - *Journal of Limnology - Suppl. 1*: 45-55.

ASHE P., MURRAY D. A., REISS F., 1987 - The zoogeographical distribution of Chironomidae (*Insecta: Diptera*) - *Annals of Limnology*: 27-60.

KAWECKA B., KOWNACKI A., KOWNACKA M., 1978 - Food relations between algae and bottom fauna communities in glacial streams - Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: 1527-1530.

CANTONATI M, GERECKE R., BERTUZZI E., 2006 - Springs of the Alps - Sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies - Hydrobiologia: 59-96.

ROSENBERG D.M., RESH V.H., 1993 - Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates: 488 pp.

O'TOOLE C., DONOHUE I., MOE S.J., IRVINE K., 2008 - Nutrient optima and tolerances of benthic invertebrates, the effects of taxonomic resolution and testing of selected metrics in lakes using an extensive European data base - Aquatic Ecology: 277-291.

SNIFFER, 2007 - Macroinvertebrate classification diagnostic tool development - Project WFD60 - <http://www.sniffer.org.uk/>.

SCHÄFER R. B., CAQUET T., SIIMES K., MUELLER R., LAGADIC L., LIESS M., 2007 - Effects of pesticides on community structure and ecosystem functions in agricultural streams of three biogeographical regions in Europe. Science of the total environment, 382 (2-3): 272-285.

TOKESHI M., 1995 - Life cycles and population dynamics - in: ARMITAGE P., CRANSTON P. S., PINDER L. C. V. , The *Chironomidae* - The biology and ecology of non-biting midges: 225-268.

ROSSARO B., 1991 - Factors that determine chironomidae species distribution in fresh waters - Bollettino di zoologia: 281-286.

SARTORI F., BANI L., BOTTONI L., FORNASARI L., FRUGIS S., GARAGNA S., GIRGENTI P., GROPPALI R., MASSA R., PAOLETTI M.G., REDI C. A., SÜSS L., ZUCCOTTI M., 1998 - Bioindicatori ambientali - Chironomidi come indicatori della qualità delle acque: 180-184.

WARD J. V., TOCKNER K., ARSCOTT D. B., CLARET C., 2002 - Riverine landscape diversity - *Freshwater Biology*: 517-539.

LENCIONI V., MAIOLINI B., 2002 - L'ecologia di un ecosistema acquatico alpino (Val de la Mare, Parco Nazionale dello Stelvio) - *Natura alpina*: 96 pp.

LENCIONI V., MARZIALI L., ROSSARO B., 2007 - I ditteri chironomidi: morfologia, tassonomia, ecologia, fisiologia e zoogeografia - *Quaderni del Museo Tridentino di Scienze Naturali*: 1-175.

ROSENBERG D. M., 2005 - Freshwater biomonitoring and *Chironomidae* - *Aquatic Ecology*: 101-122.

FERRARESE U., ROSSARO B., 1981 - Chironomidi, 1 (*Diptera, Chironomidae*: Generalità, *Diamesinae, Prodiamesinae*) - Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane, CNR AQ/1/129, vol. 12: 1-96.

D'AGATA C., DIOLAIUTI G. A., BOCCHIOLA D., MARAGNO D., SMIRAGLIA C., 2013 - Glacier shrinkage driven by climate change during half a century (1954-2007) in the Ortles-Cevedale group (Stelvio National Park, Lombardy, Italian Alps) - *Theoretical and Applied Climatology*: 169-190.

## 8. RINGRAZIAMENTI

Un caloroso ringraziamento va a Marco Baccanelli e Tobia Bona, con i quali ho condiviso il percorso di tirocinio e le procedure di campionamento svolte in diverse località dell'alta Valle Camonica.

Un sentito grazie lo rivolgo ai miei coinquilini Giuseppe Spini e Andrea Tarabini che, con Tobia, hanno avuto notevole importanza nella mia crescita personale durante i tre anni di frequentazione alle lezioni universitarie.

Infine il ringraziamento più grande va ai membri della mia famiglia, sempre presenti e disponibili a supportarmi anche in momenti meno felici.