

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AMBIENTALI

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA
EVOLUZIONE BIOLOGICA E BIOCHIMICA – XX CICLO

**Distribuzione ed ecologia di Copepodi Arpacticoidi
in torrenti d'alta quota italiani
BIO/05**

Coordinatore: Prof. Federico Federici

Firma

Tutor: Prof. Vezio Cottarelli

Firma

Cotutor: Dott. Bruno Maiolini

Firma

Dottoranda: Dott.ssa Roberta Raschioni

Firma

TUSCIA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCES

DOCTORATE COURSE
BIOLOGICAL EVOLUTION AND BIOCHEMISTRY – XX CYCLE

**Ecological distribution of Copepods Harpacticoids
in Italian high altitude streams
BIO/05**

Coordinator: Prof. Dr. Federico Federici

Signature

Tutor: Prof. Dr. Vezio Cottarelli

Signature

Cotutor: Dr. Bruno Maiolini

Signature

Graduate: Dr. Roberta Raschioni

Signature

RIASSUNTO

In questo lavoro di tesi vengono presentati e discussi i risultati ottenuti da una serie di indagini ecologiche condotte nei sistemi fluviali di Conca (Parco Naturale Adamello-Brenta) e Val de La Mare (Parco Nazionale dello Stelvio) dal 2001 al 2005, mirate allo studio della distribuzione, dell'ecologia e biologia dei Copepodi Arpacticoidi nei torrenti d'alta quota italiani. I campionamenti sono stati eseguiti in diverse tipologie fluviali: corsi d'acqua alimentati da acque di fusione glaciale (kryal), ad alimentazione sorgentizia (krenal) e ad alimentazione mista (kreno-rhithral, kryal-rhithral) e sono state indagate complessivamente 21 stazioni comprese tra i 2703 e 1200 m s.l.m. e distribuite su 5 torrenti (Tabella 1).

N.	Stazione	Altitudine m.s.l.m.	Tipologia	Località	Torrente
1	C3	2500	Kryal	Carè Alto	Conca
2	C4	2400	Kryal-rhithral	Carè Alto	Conca
3	C7	2500	Kreno-rhithral	Carè Alto	Conca
4	C8	1800	Kryal-rhithral	Carè Alto	Rio Bedù
5	CR1	2694	Kryal	Careser	Rio Careser
6	CR1bis	2694	Kreno-rhithral	Careser	Rio Careser
7	CR2	2642	Kryal	Careser	Rio Careser
8	CR3	1985	Kreno-rhithral	Careser	Rio Careser
9	NB1	2650	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
10	NB1bis	2703	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
11	NB2	2455	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
12	NB2bis	2525	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
13	NB3	2270	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
14	NB3bis	2270	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
15	NB4	2257	Kryal-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
16	NB5	1980	Kryal-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
17	NB7	1200	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
18	NBAR1	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
19	NBAR3	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
20	NBAR4	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
21	NBAR5	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher

Tabella 1 - Stazioni di campionamento

Sono state utilizzate e testate diverse tecniche di raccolta, sia in ambiente bentonico, quali il drift, il kik sampling ed i tubi superficiali che in ambiente iporreico, quali le bottiglie iporreiche, i tubi iporreici e la pompa Bou-Rouch.

Con questa tesi è stata caratterizzata e definita la distribuzione a media e piccola scala dei diversi taxa sia bentonici che interstiziali, ponendo particolare attenzione sia alle diverse tipologie fluviali e quote che all'interfaccia tra habitat epibentonico ed iporreico, un ecotono di rivelante importanza ecologica nel complesso degli ecosistemi delle acque lotiche.

Complessivamente sono stati raccolti 16.600 Arpacticoidi, di cui 2.867 copepoditi ai primi stadi, non identificati, e 13.733 adulti e copepoditi agli ultimi stadi identificati ed assegnati a 15 taxa, appartenenti a 5 generi tutti della famiglia Canthocamptidae (Tabella 2).

Specie	N. tot. individui	Percentuale
<i>Maraenobiotus insignipes</i> (Lillijeberg, 1902)	1	0,007282
<i>Maraenobiotus vej dovskyi</i> (Mrázek, 1893)	12	0,087381
<i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i> (Gurney, 1932)	1	0,007282
<i>Maraenobiotus vej dovskyi zschokkei</i> (Kreis, 1920)	3	0,021845
<i>Epactophanes richardi</i> (Mrázek, 1893)	3	0,021845
<i>Moraria alpina</i> (Stoch, 1998)	168	1,223331
<i>Bryocamptus</i> (B.) <i>pygmaeus</i> (G.O. Sars, 1863)	10	0,072817
<i>Bryocamptus</i> (R.) <i>zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	2011	14,64356
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>cuspidatus</i> (Schmeil, 1893)	9937	72,35855
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>rhaeticus</i> (Schmeil, 1893)	335	2,43938
<i>Bryocamptus</i> (A.) cfr <i>vandouwei</i> (Kessler, 1914)	11	0,080099
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>alpestris</i> (Vogt, 1845)	406	2,956382
<i>Bryocamptus</i> (L.) <i>echinatus</i> (Mrázek, 1893)	154	1,121386
<i>Hypocamptus paradoxus</i> (Kreis, 1926)	640	4,660307
<i>Hypocamptus ruffoi</i>	41	0,298551
Totale	13.733	100%

Tabella 2 – Lista specie rinvenute

Dall'analisi dei dati ottenuti è emerso che la specie che prevale in tutti gli ambienti indagati è *Bryocamptus* (A.) *cuspidatus*, che presenta un'ampia valenza ecologica e riesce a colonizzare, come dimostrato, habitat caratterizzati da condizioni ambientali “limite” come i corsi d'acqua ad alimentazione glaciale ed ambienti presenti in un ampio range di distribuzione altitudinale.

Gli ambienti iporreici indagati si sono dimostrati ecotoni poveri di specie e di individui. Nessuna delle specie presenti è risultata esclusiva di acque sotterranee; sono state infatti identificate solo specie stigossene e stigofile e le stigobie mancano del tutto. L'assenza di stigobi in questi ambienti è presumibilmente da imputarsi all'effetto depauperante delle glaciazioni quaternarie. La successiva ricolonizzazione di questi ambienti nel post glaciale da parte delle specie stigobie non è stata inoltre possibile vista la loro limitata capacità di dispersione e le difficoltà di adattamento ad acque sotterranee poco profonde come quelle iporreiche degli ambienti studiati, troppo soggette a frequenti e brusche escursioni termiche.

Dallo studio della distribuzione dei Copepodi Arpacticoidi durante tutte le stagioni dell'anno si è potuto inoltre constatare come, anche nei mesi invernali, quando i corsi d'acqua sono completamente coperti da uno strato di ghiaccio e neve, nell'acqua sottostante sono presenti specie che si sono adattate a vivere in condizioni ambientali fortemente limitanti.

SUMMARY

This project deals with the results of ecological researches, carried out in the Conca (Adamello-Brenta Natural Park) and Val de La Mare river systems (Stelvio National Park) from 2001 to 2005, and it aims at studying the ecological and biological distribution of Copepods harpacticoids in Italian high altitude streams.

Samples were collected in different fluvial typologies: stations were dominated either by glacial (kryal), spring (krenal), snowmelt and rain (rhithral) or mixed (kreno-rhithral, kryal-rhithral) contribution. We analyzed 5 streams, as a total of 21 work stations located between 2703 and 1200 metres above sea level. (Summery Table 1)

N.	Work station	Altitude metres above sea level	Typology	Place	Stream
1	C3	2500	Kryal	Carè Alto	Conca
2	C4	2400	Kryal-rhithral	Carè Alto	Conca
3	C7	2500	Kreno-rhithral	Carè Alto	Conca
4	C8	1800	Kryal-rhithral	Carè Alto	Rio Bedù
5	CR1	2694	Kryal	Careser	Rio Careser
6	CR1bis	2694	Kreno-rhithral	Careser	Rio Careser
7	CR2	2642	Kryal	Careser	Rio Careser
8	CR3	1985	Kreno-rhithral	Careser	Rio Careser
9	NB1	2650	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
10	NB1bis	2703	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
11	NB2	2455	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
12	NB2bis	2525	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
13	NB3	2270	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
14	NB3bis	2270	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
15	NB4	2257	Kryal-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
16	NB5	1980	Kryal-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
17	NB7	1200	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
18	NBAR1	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
19	NBAR3	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
20	NBAR4	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
21	NBAR5	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher

Table 1 – Sampling stations

We tested different several techniques: both in benthonic areas, such as the drift nets (3 nets of 100 μ mesh, opening 10 cm, length 1 m, along a transect perpendicular to the current, collecting for 15 minutes), the kick sampling (collecting 5 samples per station with a 100 μ mesh pond net, disturbing for one minute a 1 m² area) and surface pipes; and in hyporheic areas, such as hyporheic bottles, hyporheic pipes and Bou-Rouch pump.

Therefore, this project also shows the medium and small scale distribution of different bentonic and interstitial taxa by focusing its attention on both different fluvial systems and the interface between river and groundwater ecosystem which is one the most important ecological ecotone among all the current waters. We gathered a total of 16,000 harpacticoids: 2,867 copepods at their initial stages and 13,733 adult and late staged copepods assigned to 15 taxa, belonging to 5 genus of Canthocamptide family (Summary Table 2)

Species	Total number of animals	Percentage
<i>Maraenobiotus insignipes</i> (Lillijeberg, 1902)	1	0,007282
<i>Maraenobiotus vej dovskyi</i> (Mrázek, 1893)	12	0,087381
<i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i> (Gurney, 1932)	1	0,007282
<i>Maraenobiotus vej dovskyi zschokkei</i> (Kreis, 1920)	3	0,021845
<i>Epactophanes richardi</i> (Mrázek, 1893)	3	0,021845
<i>Moraria alpina</i> (Stoch, 1998)	168	1,223331
<i>Bryocamptus</i> (B.) <i>pygmaeus</i> (G.O. Sars, 1863)	10	0,072817
<i>Bryocamptus</i> (R.) <i>zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	2011	14,64356
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>cuspidatus</i> (Schmeil, 1893)	9937	72,35855
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>rhaeticus</i> (Schmeil, 1893)	335	2,43938
<i>Bryocamptus</i> (A.) cfr <i>vandouwei</i> (Kessler, 1914)	11	0,080099
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>alpestris</i> (Vogt, 1845)	406	2,956382
<i>Bryocamptus</i> (L.) <i>echinatus</i> (Mrázek, 1893)	154	1,121386
<i>Hypocamptus paradoxus</i> (Kreis, 1926)	640	4,660307
<i>Hypocamptus ruffoi</i>	41	0,298551
Total	13.733	100%

Table 2 – List of collected taxa

As a conclusion of this research, the most predominant specie is *Bryocamptus* (A.) *cuspidatus* which has a wide ecological importance and is able to colonize habitats marked by environmental border conditions such as glacial water paths. The analyzed hyporheic areas were ecotones and lacking in species. In fact, we did not find any typical species of

subterranean water given that stygoxene, stygophiles and stigobionts species lack entirely. The lack in stygobiont species is presumably due to the impoverishment of the quaternary glaciations. Furthermore, the following re-colonization of these glacial areas by the stygobiont species was not possible because of their limited capacity of dispersion and their difficulty in adapting to not much deep subterranean waters such as the hyporheic areas.

Moreover, thanks to the study of copepods harpacticoids distribution during the whole year, we observed that some species accommodated themselves to very restrictive environmental conditions also in winter periods, when water paths are completely frozen and snowy.

INDICE

1. INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	pag. 1
2. GLI AMBIENTI ACQUATICI	pag. 3
2.1. Ambiente lotico	pag. 3
2.2. Ambiente iporreico	pag. 8
3. L'AMBIENTE DEI TORRENTI ALPINI	pag. 14
3.1. Biogeografia	pag. 14
3.2. Introduzione	pag. 15
3.2.1. Il Kryal	pag. 17
3.2.2. Il Rhithral	pag. 19
3.2.3. Il Krenal	pag. 20
3.3. Approccio alternativo alla classificazione dei torrenti d'alta quota	pag. 21
3.4. La comunità bentonica	pag. 22
3.4.1. Generalità	pag. 22
3.4.2. Zoobenthos alpino	pag. 23
3.5. L'importanza del drift nei torrenti alpini	pag. 24
4. I COPEPODI ARPACTICOIDI	pag. 27
4.1. Introduzione	pag. 27
4.2. Popolamenti di arpacticoidi in ambienti di media ed alta quota italiani	pag. 31
5. MATERIALI E METODI	pag. 36
5.1. Area di studio	pag. 36
5.1.1. Inquadramento geografico	pag. 36
5.1.2. Stazioni di campionamento	pag. 42
5.2. Tecniche di campionamento in ambiente superficiale ed in ambiente iporreico	pag. 43
5.3. Identificazione dei taxa	pag. 46
5.4. Analisi dei dati	pag. 46

6. RISULTATI	pag. 48
6.1. Analisi dei parametri di comunità	pag. 48
6.2. Il sistema Val de La Mare e confronti con i sistemi del Careser e del Carè Alto	pag. 52
6.3. Composizione della taxocenosi in ambiente bentonico ed iporreico	pag. 59
6.4. Composizione della taxocenosi nelle diverse stagioni	pag. 62
6.5. Taxa maggiormente significativi	pag. 64
7. DISCUSSIONE	pag. 69
7.1. Analisi dei parametri di comunità e confronti tra sistemi	pag. 69
7.2. Composizione della taxocenosi in ambiente bentonico ed iporreico	pag. 69
7.3. Composizione della taxocenosi nelle diverse stagioni	pag. 70
7.4. Taxa maggiormente significativi	pag. 71
8. CONCLUSIONI	pag. 74
9. BIBLIOGRAFIA	pag. 76
10. RINGRAZIAMENTI	pag. 86
11. APPENDICE	pag. 87

1) INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

La presente tesi di dottorato si inserisce in una serie di progetti sui corsi d'acqua di alta e media quota, alpini, appenninici ed insulari, condotti presso il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università della Tuscia e la Sezione di Zoologia degli Invertebrati e Idrobiologia del Museo Tridentino di Scienze Naturali di Trento. Le ricerche in ambiente alpino sono state co-finanziate dalla Provincia Autonoma di Trento con i progetti HIGHEST (Health and Integrity of Glacial Hedwaters in Trentino) e dall'Istituto per la Ricerca in Montagna (IMONT) con il progetto CRYOALP (Ruolo della criosfera alpina nell'equilibrio idrologico) mentre gli studi in ambienti montuosi, appenninici ed insulari sono stati condotti con fondi ex 60% e 40% MUIR dell'Università della Tuscia.

La tesi è in particolare dedicata allo studio dei Copepodi Arpacticoidi, che costituiscono l'ordine di Crostacei più numeroso, ricco di taxa altamente diversificati e maggiormente rappresentato nel benthos degli ecosistemi marini e lentici (Sarvala 1979; Hicks and Coull 1983). Diversi studi hanno riguardato la loro distribuzione in ambienti lentici d'alta quota come quelli delle Montagne Rocciose del Nord America (Reed & Olive 1958; Patalas 1964; Anderson 1971, 1974), i rilievi tropicali dell'Africa occidentale (Löffler 1968), i massicci dell'America centrale (Löffler 1972), alcune regioni dell'Himalaya (Manca *et al.* 1994), le Alpi occidentali italiane (Jersabek *et al.*, 2001) e le Alpi Austriache (Tolotti, 2006). Pochissimi studi hanno riguardato la loro distribuzione in ambienti fluviali d'alta quota italiani ad eccezione delle ricerche di Pesce (1996), Cottarelli *et al.* (2002), Maiolini *et al.* (2005) e Raschioni *et al.* (2007); mentre numerosi studi hanno riguardato la loro distribuzione in ambienti di sorgente e di grotta Pesta (1923, 1935), Tonolli (1951), Kiefer (1981), Tilzer (1968), Reed (1970), Crema *et al.* (1996), Brancelj (1999), (Stoch, 1993, 1995, 1997, 1998b, 2001, 2004), (Colla *et al.*, 2002), (Stoch *et al.*, 2002), (Mezzanotte *et al.*, 2004), (D'Ambrosio *et al.*, 2003), (Fiasca *et al.*, 2004).

Molto scarse e lacunose risultano inoltre le informazioni riguardanti l'ecologia e la sinecologia delle biocenosi iporreiche di copepodi ed i pochi dati presenti in letteratura si riferiscono per lo più alla distribuzione spaziale ed agli aspetti sistematici e faunistici dei relativi popolamenti.

In questo lavoro verranno fornite informazioni sulla distribuzione, sull'ecologia e biologia dei Copepodi Arpacticoidi in diversi torrenti alpini d'alta quota, relativamente alle differenti tipologie fluviali indagate, le diverse tecniche di campionamento utilizzate e le diverse quote. Inoltre verrà caratterizzata e definita la distribuzione a media e piccola scala dei diversi taxa sia bentonici che interstiziali, ponendo particolare attenzione all'interfaccia

tra habitat epibentonico ed iporreico, un ecotono di rilevante importanza ecologica nel complesso degli ecosistemi delle acque lotiche (Danielopol *et al.*, 1994; Brunke *et al.*, 1997; Boulton *et al.*, 1997; Hose *et al.*, 2005). Si tratta di un'analisi indirizzata non solo alla definizione degli aspetti ecologici, faunistici e biogeografici ma anche all'individuazione di specie caratteristiche e caratterizzanti delle diverse tipologie acquatiche indagate. Gli ambienti studiati infatti presentano una comunità zoobentonica che varia lungo un gradiente longitudinale dalla sorgente verso valle adattandosi continuamente al variare delle condizioni ambientali. Molto evidenti sono gli effetti della quota e dell'origine sulla "qualità" di questi corsi d'acqua: all'aumentare della quota e all'aumentare della "glacialità" di un corso d'acqua si osserva generalmente una riduzione di biodiversità (Lencioni 2000; Lencioni, Maiolini & Rossaro 2000).

I dati utilizzati in questa ricerca sono stati raccolti con una serie di campionamenti da me compiuti dal 2001 al 2005 nel bacino idrografico del torrente Noce Bianco nel Parco Nazionale dello Stelvio (Val de la Mare e Careser) e nel bacino idrografico del torrente Conca nel Parco Naturale Adamello-Brenta (Carè Alto). Si tratta di torrenti alpini che scorrono spesso lungo ripidi pendii nella zona giacente fra la linea degli alberi e le nevi perenni e caratterizzati da un aumento della portata, della profondità, della torbidità, della sostanza organica e della temperatura da monte verso valle. Ho poi utilizzato dati ottenuti da ricerche che ho svolto in alcune stazioni appenniniche integrati con informazioni disponibili presso il laboratorio di biologia animale e biogeografia del dipartimento DISA dell'Università.

2) GLI AMBIENTI ACQUATICI

2.1) Ambiente lotico

Le acque continentali di superficie possono essere distinte in due grosse categorie: acque lentiche e lotiche. Le prime rappresentano acque che risultano praticamente immobili come laghi, stagni, pozze temporanee, mentre le seconde si riferiscono alle acque caratterizzate da un movimento continuo ed unidirezionale e sono per questo definite correnti (fiumi, torrenti, ruscelli e rii). Molto schematicamente un sistema lotico comprende una zona di origine che può derivare direttamente da una falda freatica o dallo scioglimento di nevi e ghiacciai, un corso o asta fluviale ed un tratto terminale. Quest'ultimo tratto può essere rappresentato dalla confluenza del corso d'acqua in un altro di maggiori dimensioni o dalla terminazione direttamente in un lago o più frequentemente in mare con uno sbocco detto foce. Le acque lotiche, tramite azioni di erosione ed accumulo, sono in grado di creare sinuosità tipiche dette meandri che tendono ad ampliarsi: dove il fiume forma una curva, la sponda esterna viene erosa dalla forza centrifuga, mentre il materiale alluvionale si deposita sulla sponda interna, protetta. Lungo l'asta fluviale, nelle zone di erosione si formano le pozze o "pools" caratterizzate da profondità maggiore della media, velocità di corrente moderata e substrato sabbioso. Nella zona rettilinea tra una pozza e l'altra si trovano, invece, piccole rapide superficiali dette "riffle" (Hynes, 1975). L'alternanza di "riffle" e "pools" determina una notevole varietà di habitat e un conseguente aumento di diversità delle comunità animali e vegetali.

Gli elementi che definiscono le caratteristiche idrologiche di un fiume sono: il bacino idrografico, la lunghezza, la pendenza, la velocità, la portata e il regime. Il bacino idrografico rappresenta l'area in cui le acque sorgentizie o meteoriche di ruscellamento superficiale scolano verso un unico solco di scarico detto solco d'impluvio. Il bacino è delimitato da una linea spartiacque perimetrale che generalmente corrisponde alle sommità dei rilievi. Al suo interno si riconosce la rete idrografica che è formata dal corso principale, dai suoi affluenti e da eventuali bacini lacustri.

La lunghezza di un fiume è espressa dalla misura della distanza che esiste tra la sorgente e la foce, mentre la pendenza è il rapporto tra il dislivello che separa due punti lungo il profilo del corso e la loro distanza orizzontale. Questi due elementi sono strettamente legati alla morfologia della regione e all'altitudine della sorgente rispetto al livello del mare.

La velocità di corrente, la distanza percorsa da una massa d'acqua nell'unità di tempo, dipende dalla pendenza ma anche dalla profondità, dalla forma della sezione e dalla tipologia dell'alveo: questa appare massima nella parte centrale, un po' al di sotto del pelo

dell'acqua, in quanto sia l'attrito con il letto, ma anche con l'aria, tende a frenare lo scorrimento delle acque.

La portata è il volume di acqua che passa attraverso una sezione trasversale del fiume nell'unità di tempo e, essendo legata al regime delle piogge, che a sua volta è in funzione del clima della regione, della posizione geografica e della natura e copertura vegetazionale del terreno, può presentare variazioni con diversa periodicità (giornaliere, stagionali, annuali). Il regime rappresenta la variazione della portata nel corso dell'anno: se la portata è maggiore della media annuale si ha il regime di piena, se invece è minore della media annuale si ha il regime di magra. In Italia due sono i tipi di regime ben rappresentati: quello appenninico e quello alpino, caratterizzati il primo da magre estive e piene invernali in quanto dipendenti dall'apporto pluviale, il secondo da piene estive e magre invernali in quanto il regime è determinato principalmente dallo scioglimento nivale e glaciale.

Il fiume è paragonabile a un "organismo vivente", in lenta e continua trasformazione; la sua natura è definita da un insieme molto complesso di equilibri che facilmente si possono alterare. La struttura degli ecosistemi di acque correnti dipende dalle relazioni che intercorrono tra il fiume ed il territorio circostante e dal *continuum* di ambienti che si susseguono in un'ininterrotta trasformazione: da zona di sorgente (*crenon*), a zona di torrente (*rhithron*), a zona di pianura (*potamon*). Questi diversi tratti sono caratterizzati da diverse variazioni di portata, turbolenza, tipologie dei sedimenti, chimismo dell'acqua, morfologia dell'alveo (diritto, sinuoso, inciso, ampio, pensile ecc.). Questi, insieme a molti altri fattori (per esempio le caratteristiche geologiche e morfologiche del bacino), contribuiscono ad influenzare le interrelazioni e gli scambi tra acque superficiali e falda; inoltre, l'azione erosiva e la capacità di deposito dei sedimenti contribuiscono a trasformare e modellare il territorio.

Una netta zonazione tra *crenon*, *rhithron* e *potamon* non può però essere stabilita perché i parametri fisico – chimici e la componente biotica variano con continuità per tutto il corso d'acqua dalla sorgente alla foce, secondo il *River Continuum Concept* (Vannote *et al.*, 1980; Minshall *et al.*, 1985; Statzner & Higl, 1985). Tale concetto di continuità fluviale propone una visione unificante dell'ecologia fluviale e un possibile trasferimento di materia, energia e/o organismi tra o entro elementi del ciclo idrologico (Vannote *et al.*, 1980) mediato dal flusso d'acqua. L'acqua che scorre in alveo può essere vista come l'elemento che mantiene l'unità tra la dimensione verticale, longitudinale, laterale e temporale.

Per dimensione longitudinale si intende quella lungo l'asta fluviale nella direzione della corrente; con la dimensione laterale si richiama soprattutto la connettività tra l'alveo e la

piana alluvionale; quella verticale riguarda gli scambi tra il flusso principale della corrente e la zona iporreica sottostante. La dimensione temporale infine rappresenta la continuità e la periodicità degli eventi secondo le diverse scale caratteristiche: giornaliera, stagionale, annuale, decennale, secolare (Figura 1).

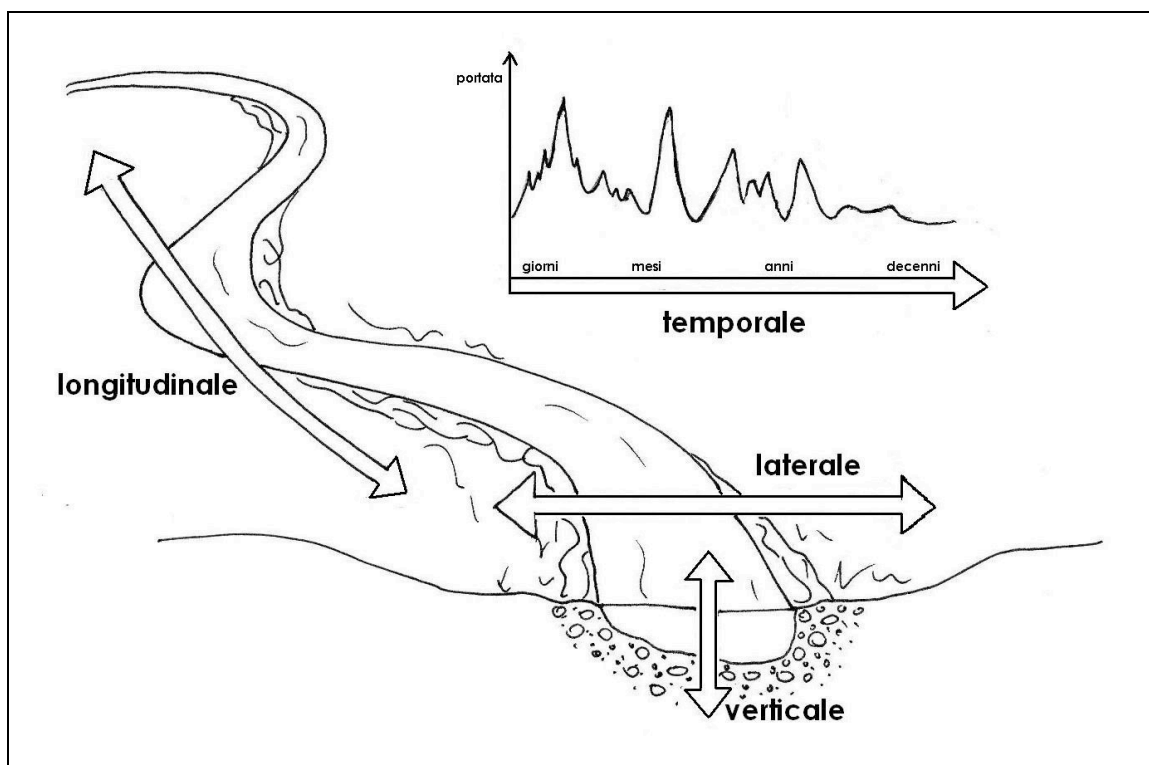


Figura 1 – Schema esemplificativo della continuità o connettività nelle quattro dimensioni

Nei corsi d'acqua montani le comunità biologiche acquatiche sono sostenute dalla grande quantità di detrito organico (foglie, rami) fornito dalla vegetazione riparia, mentre l'ombreggiamento di quest'ultima riduce lo sviluppo dei produttori fotosintetici (es. alghe). Il metabolismo fluviale è quindi eterotrofico (sostenuto dagli apporti organici terrestri) e la struttura della comunità è dominata dai triturator e dai collettore mentre i pascolatore sono poco rappresentati, riflettendo la limitata disponibilità delle loro risorse alimentari (alghe, muschi, idrofite vascolari) (Figura 2).

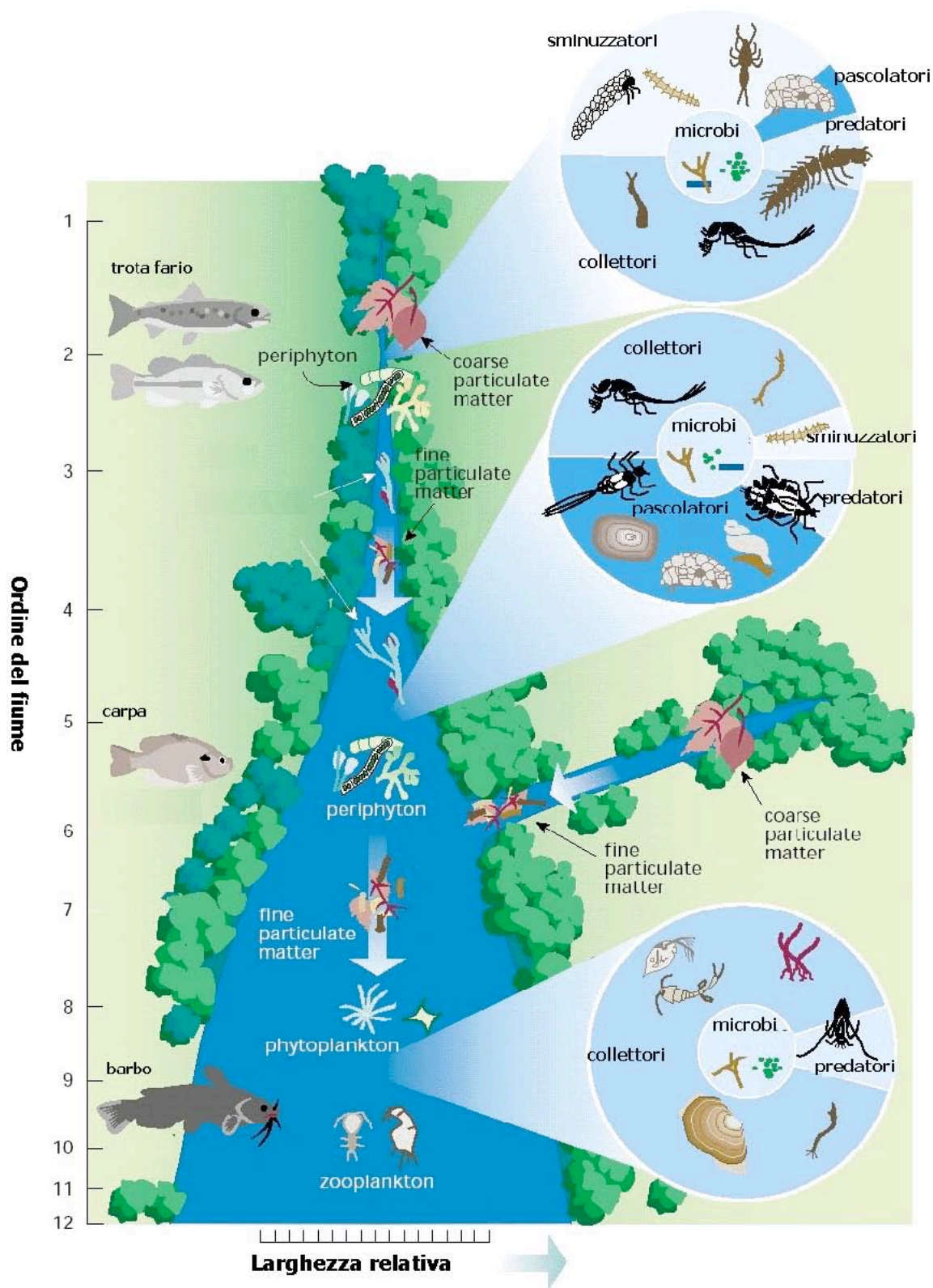


Figura 2 - Relazioni proposte dal *River Continuum Concept* tra le dimensioni del corso d'acqua ed i graduali aggiustamenti nella struttura e nella funzione delle comunità lotiche. CPOM=Coarse Particulate Organic Matter (materia organica particolata grossolana); FPOM=Fine Particulate Organic Matter (materia organica particolata sottile); P/R=rapporto fotosintesi/respirazione. (Da VANNOTE *et al.*, 1980).

Procedendo verso valle, nei fiumi di media grandezza la riduzione della superficie ombreggiata e il conseguente aumento della fotosintesi inducono il passaggio ad un metabolismo fluviale autotrofico (sostenuto dalla produzione primaria acquatica). Le comunità acquatiche risultano energeticamente autosufficienti rispetto agli apporti terrestri che, tuttavia, continuano ad essere un'importante risorsa; aumentano i pascolatori a scapito dei trituratori, mentre i collettori continuano ad abbondare, sfruttando il particolato organico fine prodotto dai trituratori nei rami montani.

Nei grandi fiumi l'ombreggiamento diviene trascurabile, ma la fotosintesi è generalmente limitata dalla torbidità delle acque: le condizioni ritornano eterotrofiche e la comunità, sostenuta da grandi quantità di materia organica particolata fine, proveniente in gran parte dai tratti superiori diviene nettamente dominata dai collettori.

La tendenza a mantenere costante il flusso di energia su base annua, nonostante le variazioni stagionali degli apporti dei principali substrati organici (caduta delle foglie, fotosintesi), è ottenuta accoppiando ad esse una serie di accorgimenti regolativi: sequenza temporale sincronizzata nell'arco dell'anno di specie e di specializzazioni alimentari, variazioni temporali dei gruppi funzionali e dei processi di immagazzinamento (ritenzione fisica del detrito organico e produzione di nuova biomassa) e di perdita di energia (trasporto verso valle e respirazione).

A differenza dei sistemi dotati di una struttura fisica poco variabile nel tempo (es. alcune foreste), nei quali la stabilità dell'ecosistema può essere mantenuta anche con una bassa diversità biologica, negli ecosistemi fluviali, caratterizzati da marcate variazioni fisiche, soprattutto di portata, il mantenimento della stabilità richiede una elevata diversità biologica, condizionata dalla presenza di una elevata diversità ambientale.

La concezione di continuità fluviale mette in evidenza come le comunità acquatiche e il metabolismo fluviale dipendono non solo dalle condizioni locali, ma anche dai processi che si verificano nei tratti a monte.

Naturalmente nei singoli corsi d'acqua numerosi fattori provocano spostamenti locali o generali dallo schema ideale tracciato dal *River Continuum Concept*. La transizione delle caratteristiche fisiche dalla sorgente alla foce non è infatti uniforme, ma mostra accelerazioni o rallentamenti in relazione a numerosi fattori, tra i quali: presenza di più livelli di base (es. in corrispondenza di laghi o cascate); di rami morti e zone umide permanentemente o saltuariamente in collegamento idraulico col fiume; immissione di affluenti con bacino vegetato o denudato; cambiamenti della tipologia dell'alveo (Figura 3); anomalie geologiche (es. in regioni carsiche) o climatiche (es. in regioni aride). Il *River*

Continuum Concept è dunque un utile schema interpretativo che non può prescindere dal tenere nel dovuto conto le particolarità locali.

Caratteristiche geomorfologiche			
	Canyon	Anastomosato	Meandriforme
PARAMETRO			
Rapporto superficie/portata	Basso	Alto	Medio
Apporto organico ripario	Basso	Alti	Medi
Ritenzione del detrito	Basso	Alta	Medio-alta
Superficie bagnata	Basso	Ampia	Media

Figura 3 - Cambiamenti di alcuni parametri ecosistemici di rilievo in risposta a cambiamenti delle caratteristiche geomorfologiche risultanti da differenti dinamiche idrauliche in diversi tratti di un corso d'acqua. (Modificato da Minshall *et al.*, 1985)

Mentre stagni e laghi possono essere considerati degli ecosistemi chiusi, poiché la materia organica viene in continuazione prodotta e rielaborata dal sistema stesso in un ciclo continuo; i corsi d'acqua sono degli ecosistemi aperti, poiché la mineralizzazione ed il continuo riciclo della materia organica avviene durante il trasporto della stessa ad opera delle correnti. Le fasi di trasformazione si susseguono nel tempo, lungo il corso del fiume, e gli stadi di trasformazione chimica, fisica e biologica possono essere più o meno distanziati tra loro.

2.2) Ambiente iporreico

Nella visione quadridimensionale dell'ecosistema fluviale, l'ambiente iporreico (hypo=sotto, rheo=flusso o corrente) costituisce una "zona di transizione" (Stanford & Ward, 1993; Vervier *et al.* 1992), "un ecotono dinamico" (Gibert *et al.*, 1994) di intensi scambi fra l'ambiente fluviale superficiale e quello delle acque freatiche sotterranee e la fascia di maggior scambio idraulico si trova nei primi 30-50 cm sotto il letto del fiume (Figura 4).

Da un punto di vista strutturale la zona iporreica è una matrice di spazi interstiziali saturi d'acqua, caratterizzati da oscurità permanente, basse velocità di corrente, ridotte variazioni giornaliere di temperatura ed alta stabilità del substrato (Brunke & Gonser, 1997) ed il suo sviluppo segue un percorso simile in ogni bacino idrografico: è ridotta nella parte alta dell'asta fluviale, raggiunge un massimo di sviluppo nella zona intermedia e diminuisce di

nuovo nella zona planiziaria, ove la connettività idraulica alluvionale, più bassa per sedimentazione del particolato fine, inibisce gli scambi idrici (Stanford & Ward, 1993; White, 1993). La zona iporreica è in connessione ed interazione con l'intero bacino attraverso il corridoio iporreico (Stanford & Ward, 1993) che da un punto di vista strutturale è caratterizzato da una componente laterale estesa fino a 3 km dal canale (Stanford *et al.*, 1994), che la connette alle zone riparie ed agli acquiferi alluvionali, attraverso una complessa rete di scambi idrici.

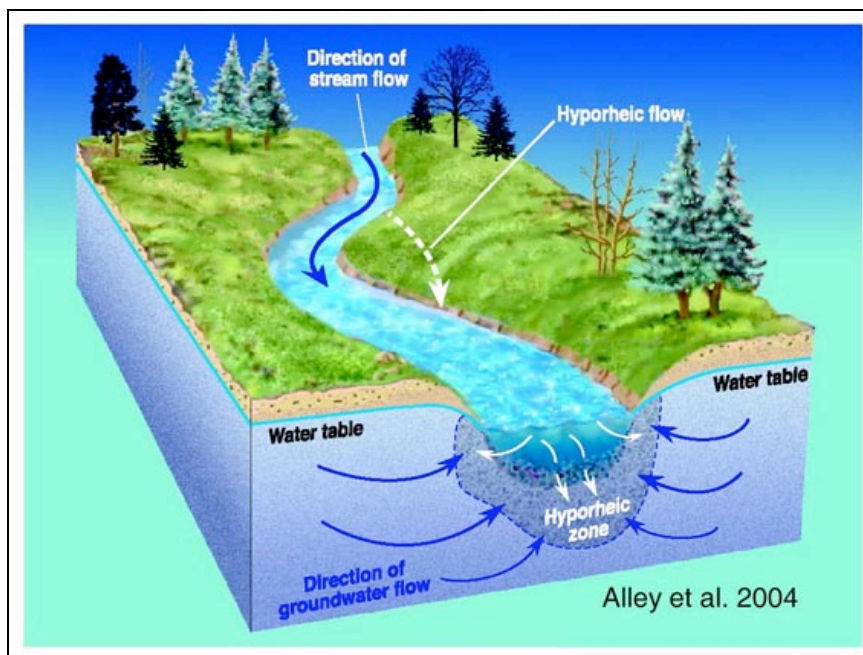


Figura 4 – Ambiente iporreico (Da Alley *et al.*, 2004)

Il ruolo che il corridoio iporreico riveste in un bacino idrografico risulta fondamentale per molti processi ecologici legati ai comparti idrici adiacenti: 1) la produttività primaria nel corso d'acqua sovrastante la zona iporreica è fortemente influenzata dall'*upwelling* di acqua sotterranea, solitamente più ricca di nutrienti algali, quali i nitrati; 2) la struttura e la dinamica della zona riparia riflette i *pattern* di flusso in ambiente iporreico; 3) la variabilità temporale e spaziale dei processi di scambio idrico aumentano la biodiversità dei diversi ecosistemi acquatici superficiali, sotterranei ed ecotonali (*ipotesi del disturbo intermedio*). La zona iporreica è caratterizzata, lungo la componente longitudinale, da scambi idrici sia con l'acqua superficiale (*downwelling*) sia con quella sotterranea (*upwelling*). Questi scambi avvengono in punti diversi, determinati dalle variazioni granulometriche dei sedimenti dell'alveo, dalla geomorfologia del corso d'acqua (forma del canale, scabrezza e permeabilità del fondo, variazioni di pendenza e di profondità delle sequenze riffle-pools) e dalla struttura dell'acquifero sottostante.

La profondità decrescente del canale alla fine di una pool forza l'acqua superficiale tra gli spazi interstiziali dei sedimenti (downwelling), costringendo l'acqua interstiziale che fluisce nel corridoio iporreico a riemergere ad una certa distanza, nel riffle (upwelling). Oltre a questi scambi idrici longitudinali, la zona iporreica è interessata anche da flussi orizzontali di acqua che entrano ed escono da essa attraverso le gravel bars o attraverso le fasce perifluviali (outwelling) e che, insieme ai flussi di upwelling e downwelling contribuiscono alla ritenzione idrologica (hydrological retention sensu Morrice *et al.*, 1997).

L'ambiente iporreico, come tutti gli ecotoni, è particolarmente ricco di biodiversità perché è frequentato, contemporaneamente o in periodi diversi, da organismi delle due comunità confinanti (Naiman *et al.*, 1988). Si possono quindi trovare sia organismi tipici delle acque sotterranee (Crostei e Oligocheti), che bentonici (insetti Ditteri, Plecotteri e Tricotteri). I primi migrano verso l'alto con movimenti volontari, alla ricerca di nutrimento o di acque più ossigenate, e con spostamenti involontari sono spinti verso l'alto dalla falda (upwelling). I secondi penetrano tra gli interstizi della zona iporreica per trascorrervi fasi delicate del proprio ciclo vitale (nursery), per scopi di alimentazione, o per trovare un rifugio da condizioni ambientali sfavorevoli quali per esempio gli eventi di piena, o i forti abbassamenti di temperatura invernali o gli innalzamenti estivi. Tale utilizzo della zona iporreica come rifugio è particolarmente importante nei torrenti glaciali nella stagione calda, quando lo scioglimento diurno del ghiaccio provoca imponenti cambiamenti di portata d'acqua nei torrenti, rendendo l'alveo instabile e sottoposto all'azione abrasiva del limo glaciale.

Gli organismi che vivono in ambiente iporreico vengono complessivamente denominati "iporrheos" e per la maggior parte sono componenti della meiofauna; appartengono cioè a una classe dimensionale di organismi non più grandi di 0,5 mm e non più piccoli di 0,04 mm (Palmer & Strayer, 1996). Gli ambienti iporreici hanno elevata biodiversità; organismi quali Crostei, insetti, Nematodi, Rotiferi, Oligocheti, sono gruppi importanti nella maggior parte delle comunità iporreiche, ma esistono differenze considerevoli relative alla composizione percentuale del sedimento. Sedimenti grossolani spesso contengono più Crostei e insetti, mentre sedimenti fini contengono più Rotiferi, Nematodi, e Tardigradi.

La composizione e la distribuzione dell'iporrheos sono controllate da numerosi fattori: il più importante è la granulometria del substrato, ossia l'ampiezza degli interstizi, che pone limiti fisici alle dimensioni della fauna. Con granelli troppo piccoli (situazione comune nei fiumi di pianura, ma rare nei torrenti di montagna) gli spazi interstiziali sono troppo ridotti, e spesso colmati da detrito; con granelli troppo grandi (come nei tratti ad elevata pendenza)

il flusso dell'acqua è troppo elevato e dilava la fauna. In entrambi i casi, i popolamenti sono poveri sia come numero di individui che di specie, mentre la situazione ottimale si verifica con sabbie a granulometria varia, cioè sabbia grossolana e ghiaia fine. Dalla granulometria del substrato dipendono inoltre i flussi d'acqua interstiziali e quindi la temperatura, la quantità di materiale organico e di nutrienti, e la saturazione in ossigeno. La composizione e la distribuzione della fauna interstiziale dipendono primariamente dai fattori sopra elencati ma anche dalla biogeografia, fenologia e dai cicli biologici degli animali stessi.

Gibert *et al.* (1994) suddividono la fauna di organismi rinvenibili nelle acque freatiche e in quelle interstiziali iporreiche: in:

- ✓ Stigossemi: organismi che non hanno nessuna affinità con i sistemi delle acque freatiche ma che si rinvencono accidentalmente in grotte o sedimenti alluvionali;
- ✓ Stigofili: organismi che hanno una maggiore affinità con l'ambiente freatico in quanto utilizzano attivamente risorse in questo ambiente o cercano rifugio da condizioni non favorevoli dell'ambiente superficiale. All'interno di questo gruppo si possono ulteriormente distinguere le specie occasionali, in genere larve d'insetti acquatici o di altri organismi bentonici che possono trascorrere in questa zona il loro primo sviluppo (Williams & Hynes, 1974), le specie anfibi che necessitano di un periodo del loro ciclo vitale all'interno della zona iporreica, prevalentemente insetti epigei, che completano lo sviluppo larvale negli interstizi iporreici (uova, pupe, organismi in diapausa) (Stanford & Ward, 1993), e le specie permanenti che possono trascorrere tutti i loro stadi di sviluppo o nell'ambiente superficiale o in quello iporreico (Williams & Hynes, 1974).
- ✓ Stigobi: organismi specializzati per la vita sotterranea quindi obbligatoriamente iporreici (es. *Parastenocaris* tra i Copepodi e *Niphargus* tra gli Anfipodi); questi presentano caratteristiche morfologiche, fisiologiche e comportamentali adattate ai limiti fisici di tale ambiente: condizioni oligotrofiche e basse concentrazioni di ossigeno. Alcuni sono presenti in tutti gli ambienti sotterranei, gli stigobi “ubiquitari”, altri denominati “freatobi”, sono ristretti solo alle falde acquifere porose o interstiziali (freatiche) (Figura 5).

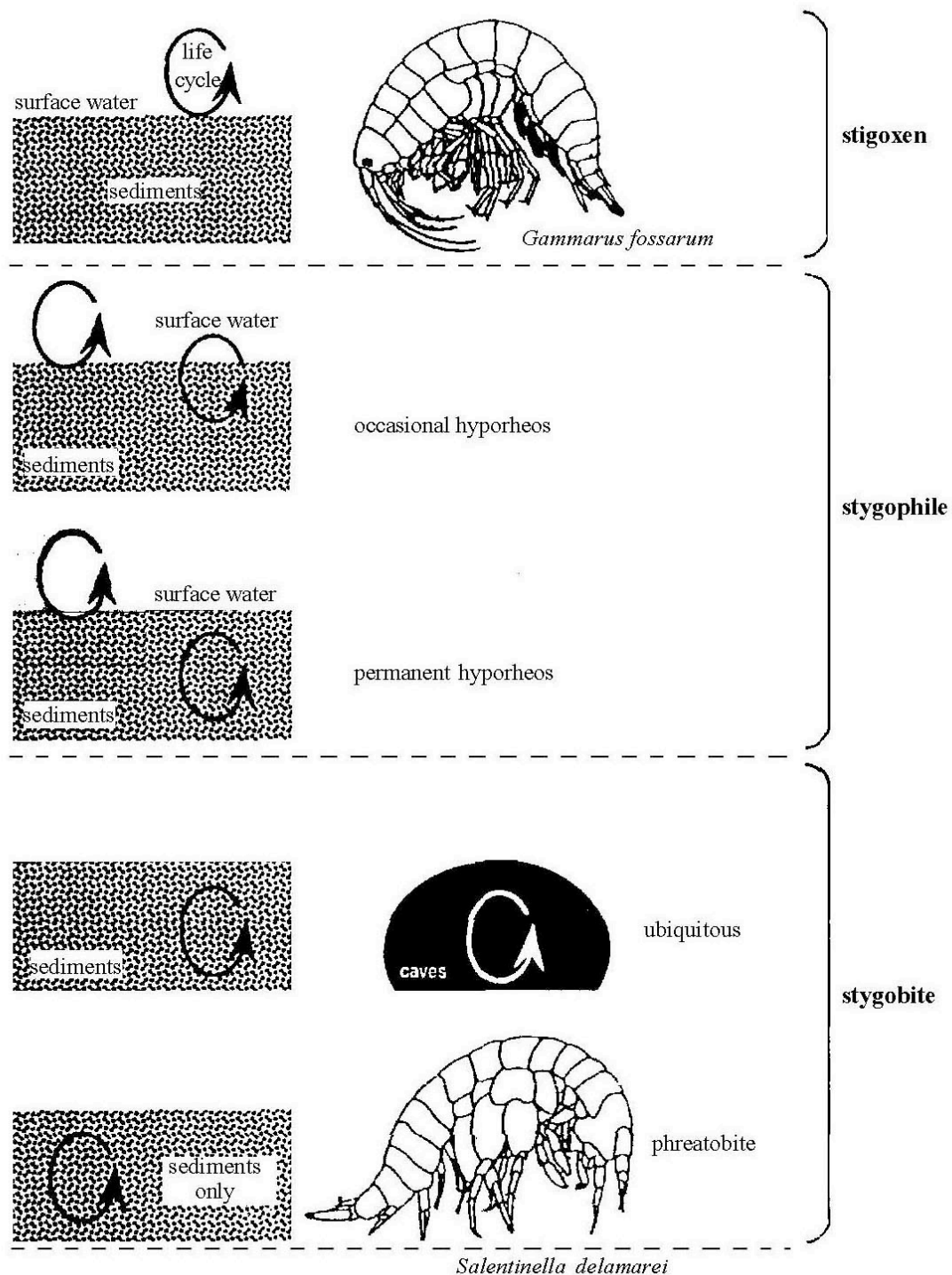


Figura 5 – Differenti organismi presenti nelle acque sotterranee (da Marmonier *et al.*, 1993)

L'ambiente iporreico nel tratto d'alto corso dei fiumi, e nei torrenti d'alta quota in particolare, si discosta dal modello generale in quanto i sedimenti sono saturi e il corso d'acqua generalmente scorre direttamente sulla roccia madre con una conseguente riduzione degli spazi interstiziali. L'ambiente iporreico è pertanto estremamente ridotto o

totalmente assente, e la diversità della fauna iporreica tende ad aumentare spostandosi dalla zona di origine verso il basso corso.

Lo studio della biocenosi iporreica comunque è di fondamentale importanza sia per ottenere informazioni sugli scambi idrici tra il fiume e la falda e viceversa e sia per una valutazione appropriata dello stato ecologico dell'iporreico stesso. Inoltre l'individuazione delle aree di scambio idrologico, proprio per l'importanza che rivestono nel condizionare la qualità dei sistemi idrici, è espressamente richiesta nell'allegato V della Direttiva 60/2000/UE.

3) L'AMBIENTE DEI TORRENTI ALPINI

3.1) Biogeografia

Le vette dei monti sono viste come isole nel contesto della teoria di “island biogeography” (Mac Arthur & Wilson, 1967). Un aumento di quota comporta la riduzione dell'area ma anche un inasprirsi delle condizioni climatiche. Queste conseguenze determinano un aumento dell'isolamento degli organismi che abitano le vette (Figura 6).

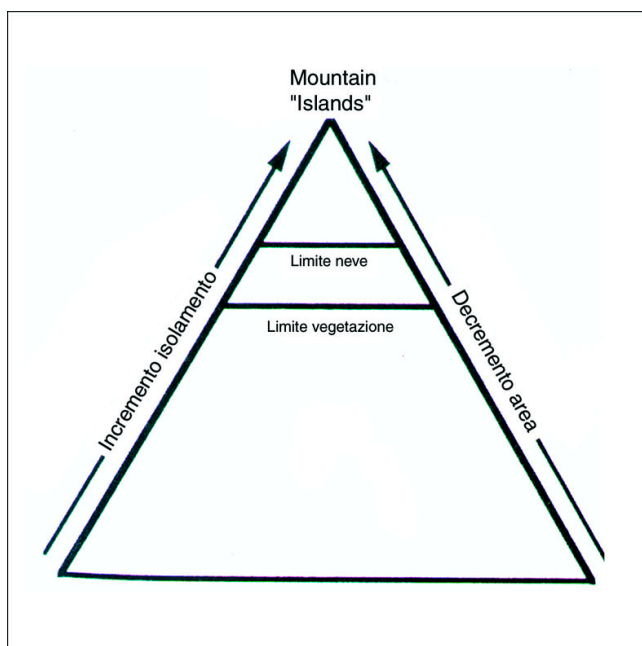


Figura 6 - La natura insulare delle vette (da WARD, 1994).

I torrenti alpini, a causa della continuità con i corsi d'acqua a valle, potrebbero erroneamente sembrare habitat poco isolati. In realtà a quote elevate i parametri fisici e ecologici dei corsi d'acqua sono molto differenti dai tratti più a valle. Questo implica una forte limitazione alla colonizzazione dei tratti in quota da parte di specie viventi a quote inferiori, che porta ad un isolamento degli organismi di questi ambienti (Festi, 2003).

La natura insulare delle vette è più marcata per montagne separate da pianure estese, che non per catene montuose. Queste infatti, soprattutto se hanno un orientamento Nord-Sud, creano condizioni più favorevoli a scambi genetici riducendo i processi evolutivi di speciazione allopatrica tipici di popolazioni isolate. In Europa occidentale, dove le zone di alta montagna sono più isolate e hanno un orientamento est-ovest, la maggior parte degli elementi faunistici dei torrenti d'alta quota sono rimasti isolati durante i diversi periodi di ritiro dei ghiacciai nel Pleistocene. Questo ha portato ad un elevato grado di speciazione e ad endemismi (Illies, 1969). Le glaciazioni quaternarie che hanno interessato soprattutto le Alpi, hanno portato alla formazione di un unico ghiacciaio che ha determinato un sensibile

impoverimento faunistico nella catena assiale alpina. Ciò non si è verificato sugli Appennini che sono stati interessati dalle glaciazioni solo marginalmente con la formazione di tanti ghiacciai sommitali. Negli Appennini le glaciazioni hanno invece determinato un arricchimento della fauna, sia per la colonizzazione da parte di contingenti alloctoni (essenzialmente centro e nord-asiatici), sia per la formazione di endemismi per isolamento geografico. Un caso particolare di distribuzione, dipendente direttamente dai fenomeni glaciali, è quello dei cosiddetti elementi boreo-alpini, o artico-alpini, in cui la stessa specie, o sottospecie diverse della stessa specie, o specie molto affini tra loro, sono attualmente diffuse nelle regioni settentrionali europee (artiche o boreali) e nelle catene montuose dell'Europa Meridionale (Alpi, Carpazi, Pirenei, Appennini, Balcani), con areali disgiunti (Minelli *et al.*, 2002)

In generale però la composizione tassonomica della fauna dei torrenti alpini della regione olartica, soprattutto per i livelli tassonomici di genere e superiore, è spesso abbastanza cosmopolita, e presenta una distribuzione geografica relativamente ampia (Ward, 1994).

3.2) Introduzione

L'espressione "torrenti alpini" si riferisce ad acque correnti nella zona alpina, definita come quella zona che si estende dal limite degli alberi fino agli ultimi lembi di vegetazione continua prima delle nevi perenni, che si trova nelle principali catene montuose del mondo, ad altitudini diverse a seconda della latitudine e sulle Alpi parte da circa 2000 – 2200 metri. Questi torrenti sono normalmente molto freddi, spesso scorrono lungo pendii ripidi e sviluppano quindi un moto veloce e turbolento. Ciò implica un'alta concentrazione di ossigeno disciolto e un substrato costituito essenzialmente da massi, ciottoli e ghiaia (Ward, 1994). Si verificano anche ampie variazioni di portata su scala annuale dovute all'apporto d'acqua derivante dallo scioglimento delle nevi e dei ghiacciai nei periodi primaverili-estivi. Ciò comporta dei processi di erosione e di deposito che alterano continuamente la struttura dell'alveo creando isole, lanche, canali laterali di diverse dimensioni, pozze, rivoli con bassa velocità e conseguente deposito di limo (Maiolini *et al.*, 2002). In contrasto con la densa fascia riparia dei torrenti montani di quote minori, le rive dei torrenti alpini sono comunemente costituite da roccia e detrito minerale e la vegetazione riparia è, in condizioni ottimali, rappresentata da piante erbacee e arbusti (Ward, 2002) (Tabella 1).

	Torrenti alpini	Torrenti montani sotto la linea degli alberi
Volta arborea	assente	chiusa
Vegetazione riparia	assente/erbacea & arbustiva	alberi, arbusti, erbe
Grossi frammenti legnosi	assenti	presenti
Copertura nevosa	variabile / in dipendenza del vento	estesa e spesso di notevole spessore
Ritenzione sostanza organica	bassa	alta
Accumuli di foglie	sparsi/assenti	maggior risorsa energetica
Produzione autotrofa	limitata da temperatura e nutrienti	limitata dalla luce
Stato trofico	autotrofo	eterotrofo

Tabella 1 - Differenze fra i torrenti montani alpini e quelli al disotto della linea degli alberi.

In generale si assiste ad una riduzione di biodiversità nelle acque correnti passando da basse ad alte quote. Questo però è fortemente dipendente dall'origine delle acque stesse. Si possono identificare in base all'origine tre diversi tipi di ecosistemi fluviali alpini (Ward, 1994) (Tabella 2) e (Figura 7):

- *kryal* (sistema dominato da acque di scioglimento glaciale);
- *krenal* (sistema alimentato da sorgenti);
- *rhithral* (sistema alimentato da acque di scioglimento di nevai e/o da precipitazioni).

In aggiunta a questa classificazione bisogna anche distinguere gli emissari di laghi alpini, secondo i casi come sottoclasse di *rhithral* o *kryal* (Hieber, 2002 b).

	Kryal	Krenal	Rhithral
Origine	glaciale	sorgentizia	mista (falda, nevai, piogge)
Portata	ampie fluttuazioni	costante	fluttuazioni limitate
Temperatura	vicina a 0°C(=4°C)	costante	con variazioni su base annuale
Trasporto solido	elevato/variabile	basso/costante	basso/variazioni limitate
Stabilità del substrato	bassa	alta	buona
Comunità	poche specie molto specializzate	tipiche comunità stabili	complessa

Tabella 2 - Caratteristiche principali delle tre tipologie fluviali presenti in alta quota

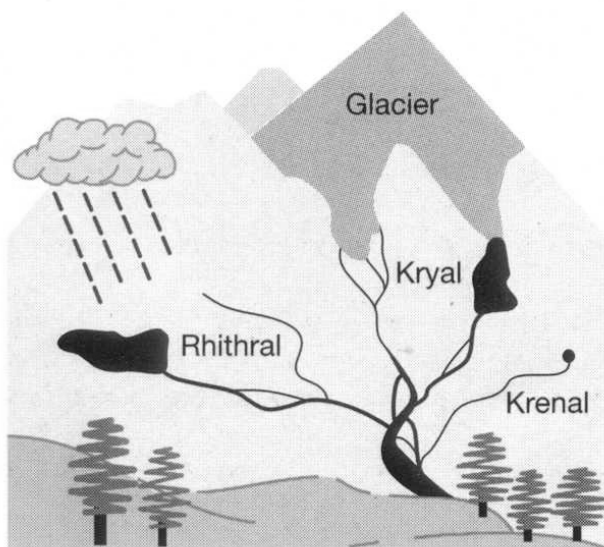


Figura 7 - Tipologie dei torrenti alpini (da Koerner, 1999).

3.2.1 Il Kryal

Sono definiti con il termine kryal tutti quei corsi d'acqua che derivano dallo scioglimento dei ghiacciai. Questi torrenti glaciali sono caratterizzati da temperature dell'acqua minori di 4°C ed estremi cambiamenti di portata in dipendenza del ciclo gelo-disgelo. In estate mostrano una variazione di portata giornaliera, con massimi nel primo pomeriggio e minimi nelle prime ore del mattino (Ward, 1994). I picchi di portata possono diminuire in giornate molto fredde e/o nuvolose.

L'andamento del disgelo influenza fortemente la trasparenza dell'acqua, essendo questa abbastanza limpida durante le portate minime mentre durante i picchi di portata estivi è assai torbida (Tockner *et al.*, 1997). Le acque che formano le portate minime derivano da apporti di falda e dall'acqua che viene rilasciata per fusione in seguito alle alte pressioni di carico che si sviluppano alla base del ghiacciaio. Queste acque hanno un minor carico di solidi sospesi e quindi generalmente si presentano limpide. Nella stagione estiva a queste si aggiunge durante il giorno una gran mole di acque conseguenti i processi di disgelo causati dall'irradiazione solare. Queste sono cariche di detriti e i torrenti quindi si presentano molto torbidi.

In inverno, a causa della interazione fra le basse temperature e la mancanza di un manto nevoso, questi torrenti possono ghiacciare completamente creando condizioni proibitive per la maggioranza degli organismi che devono sviluppare adattamenti specifici per sopravvivere al gelo e alla disidratazione (Kownacki, 1985). Nei torrenti che non

ghiacciano però le condizioni nell'alveo si stabilizzano a tal punto che si assiste ad un aumento di biodiversità e di abbondanza della comunità macrozoobentonica. Questo è dovuto principalmente all'aumento della biomassa algale in seguito alla scomparsa dei fattori limitanti estivi (torbidità e azione abrasiva) (Burgherr, 2001).

La temperatura dell'acqua e la stabilità dell'alveo sono considerate le più importanti variabili ecologiche che influenzano la composizione della fauna nel kryal (Milner & Petts 1994) e sono state considerate i principali fattori che influenzano una successione di comunità animali da monte verso valle (Milner & Petts 1994, Brittain & Milner, 2001) (Figura 8).

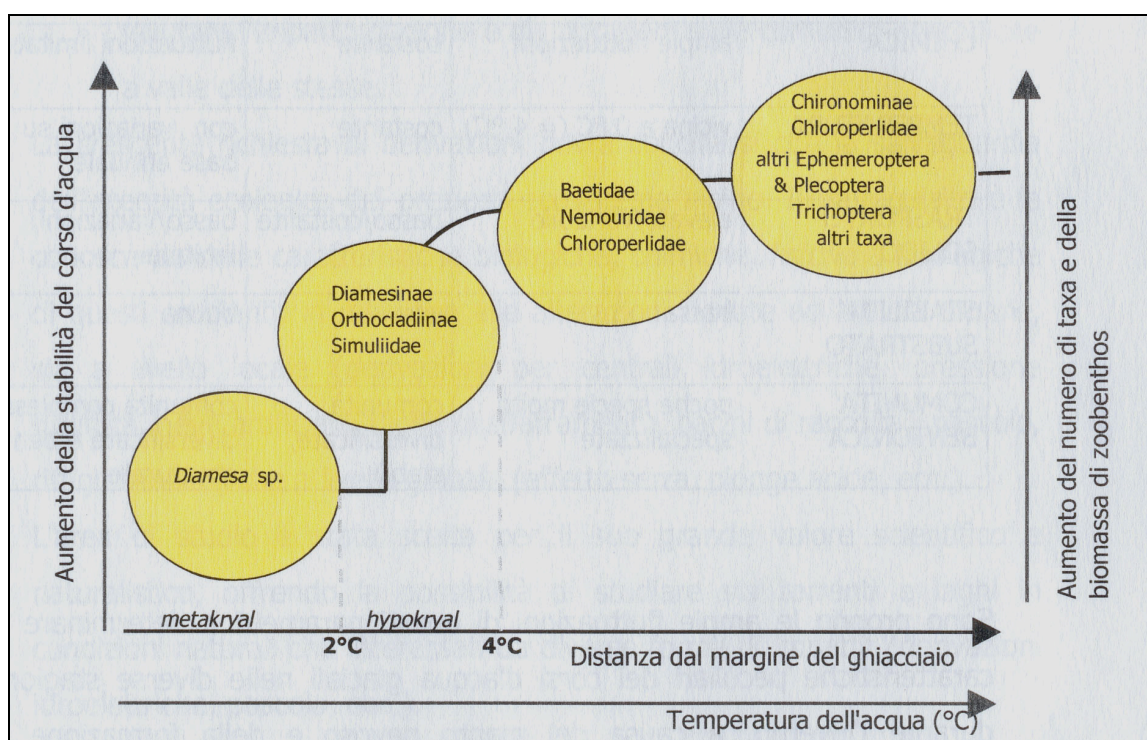


Figura 8 - Rappresentazione schematica del modello di Milner & Petts (Milner & Petts, 1994).

Secondo questo modello di successione con l'aumentare della distanza dalla sorgente diminuisce sempre più l'abbondanza dei Chironomidi per lasciare spazio ad altri ordini d'insetti come: Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri. Più in dettaglio, nel metakryal o tratto superiore del kryal, dove la temperatura dell'acqua è inferiore a 2°C anche in estate, si trovano soltanto Ditteri Chironomidi del genere *Diamesa*, un genere che comprende diverse specie stenoterme fredde (Lencioni, 2004). Le larve di questi insetti si sono ben adattate alle condizioni estreme di questo ambiente. Vivono negli anfratti e nelle depressioni dei massi ai quali si fissano con una tela sericea per evitare di essere portati via dalla forte corrente. Sono organismi raccoglitori-filtratori che si nutrono del particolato organico fine presente nelle acque di scioglimento del ghiacciaio. Queste particelle sono

portate in quota dal vento, vengono intrappolate nel ghiacciaio dalla neve e tornano disponibili con lo scioglimento.

L'hypocriai, il tratto inferiore, è caratterizzato da temperature superiori ai 2°C e dalla comparsa, insieme ai Diamesini, di Ortocladini, Simulidi e di Oligocheti (Ward, 1994). Entrambe le categorie sono caratterizzate dall'assenza di ittiofauna. Dove le temperature superano i 4°C avviene la transizione verso condizioni di rhithral con la comparsa di una comunità bentonica più diversificata. La rapidità con la quale questo cambiamento avviene dipende da diversi fattori quali: l'attività del ghiacciaio, la morfologia dell'alveo, l'andamento giornaliero e stagionale della portata. La temperatura dell'acqua, il regime delle precipitazioni, l'influenza degli eventuali tributari non glaciali e la presenza di laghi che interrompono la continuità longitudinale del torrente sono altri fattori determinanti (Maiolini & Lencioni, 2001).

3.2.2) Il Rhithral

I torrenti che scorrono attraverso bacini imbriferi al di sotto delle nevi perenni e vengono alimentati dallo scioglimento di nevai e/o dalle precipitazioni sono definiti "rhithral" (Ward, 1994). L'idrologia di questi torrenti è dominata soprattutto da maggiori apporti estivi di acque, causati dallo scioglimento delle nevi. Ne deriva un regime di portata binario, con portate maggiori nei mesi estivi e minori in quelli invernali.

La temperatura di questi torrenti in estate è data essenzialmente dalla temperatura delle acque di scioglimento. Questa rispecchia direttamente la temperatura dell'aria e si aggira in media fra i 5 e i 10°C. In inverno gli apporti di acqua sono di falda e quindi la temperatura è di poco sopra lo zero. Le variazioni delle temperature annue arrivano quindi anche oltre 10°C (Poff & Ward, 1989).

Il regime idrologico non presenta le imponenti variazioni del krynal e i fenomeni erosivi sono limitati. Le acque sono generalmente limpide e ciò favorisce una produzione autotrofa più costante.

Secondo la teoria del disturbo medio naturale o disturbo moderato (Connell, 1978), la combinazione fra parametri ecologici stabili (stabilità dell'alveo e produzione autotrofa che perdura nel tempo) e una variabilità stagionale dei parametri fisici (temperatura e portata) di un ambiente, porta ad una maggior diversificazione della comunità biologica che lo abita. Nel rhithral difatti si trova il più alto grado di biodiversità fra gli ambienti lotici d'alta quota.

La componente botanica di questi biota è caratterizzata da briofite e da un assembramento relativamente ricco di alghe, comprese crisofite, bacillariofite, clorofite e cianofite (Ward, 1994)

Il macrozoobenthos tipico del rhithral comprende una serie di elementi eurizonali che si trovano al limite più elevato della loro distribuzione altitudinale assieme a qualche specialista d'alta quota. Comunemente sono presenti Plecotteri, Efemerotteri, Tricotteri, Ditteri, Turbellari, Acari, Oligocheti e Nematodi.

Spesso è presente una limitata fauna ittica, rappresentata soprattutto da Salmonidi. In Europa in questi ambienti si trovano i generi *Salmo* e *Salvelinus*, assieme a Ciprinidi (*Barbus* sp.) e Cobiti (*Noemacheilus barbatulus*) (Sterba, 1962; Lee *et al.*, 1980).

3.2.3) Il Krenal

A questa categoria appartengono quei corsi d'acqua che sono alimentati da sorgenti (reocrene) a tutte le altitudini. Sono caratterizzati da condizioni fisiche e chimiche costanti (Klein e Tockner 2000), da acque chiare e ossigenate e da una portata relativamente costante, che determina un alveo molto stabile. Le variazioni massime delle temperature annue non superano i 1-2°C e quindi questi corsi d'acqua presentano un carattere freddo-estivo/caldo-invernale. Ciò implica che questi torrenti in inverno possono rimanere liberi dal ghiaccio anche per svariati chilometri, con conseguente crescita di grandi quantità di alghe e di muschi e di una vegetazione riparia lussureggiante (Craig & Mc Cart, 1975).

Nell'ambito alpino il krenal, rappresenta un'area rifugio adatta allo sviluppo di fauna e flora (Ward, 1985, 1994; Kownacki, 1991). La biodiversità dello zoobenthos reocrenale esibisce tipicamente valori intermedi fra quelli del kryal e del rhithral, ma le condizioni altamente stabili di questi corsi d'acqua sono la causa di densità zoobentoniche molto superiori alle altre tipologie. In situazioni dove il rhithron si trova in condizioni estreme invece, la biodiversità del krenon può essere più alta (Craig & Mc Cart, 1975; Brodsky, 1980).

Negli ambienti crenali alpini in genere gli insetti sono il gruppo più abbondante mentre negli habitat crenali di basse quote predominano Anfipodi, Isopodi e Molluschi. In parte questo può riflettere la prevalenza degli insetti nello zoobenthos di torrenti d'alta quota (Ward, 1992).

Per certi pesci inoltre questi ambienti sono molto importanti come aree di deposizione.

3.3) Approccio alternativo alla classificazione dei torrenti d'alta quota

Un approccio alternativo alla classificazione dei torrenti d'alta quota di Ward, è quello di Schütz (1999), Füreder (1999), Lencioni (2000) e Brown *et al.* (2003).

Per questi Autori la classificazione tiene conto in maggior misura della complessità dell'alimentazione dei corsi d'acqua. In particolare Brown *et al.* (2003) (Figura 9) identificano 9 tipologie fluviali sulla base del contributo relativo di acque sotterranee, scioglimento glaciale e scioglimento nivale. Il termine rhithral (che deriva dal greco e significa "fiume") scompare e viene introdotto nival (chial in Schütz, 1999) (vedi Tabella 3). Altri autori hanno introdotto glacio-rhithral (Füreder) e kreno-rhithral (Lencioni, 2000), utilizzando il termine "rhithral" per indicare la condizione mista.

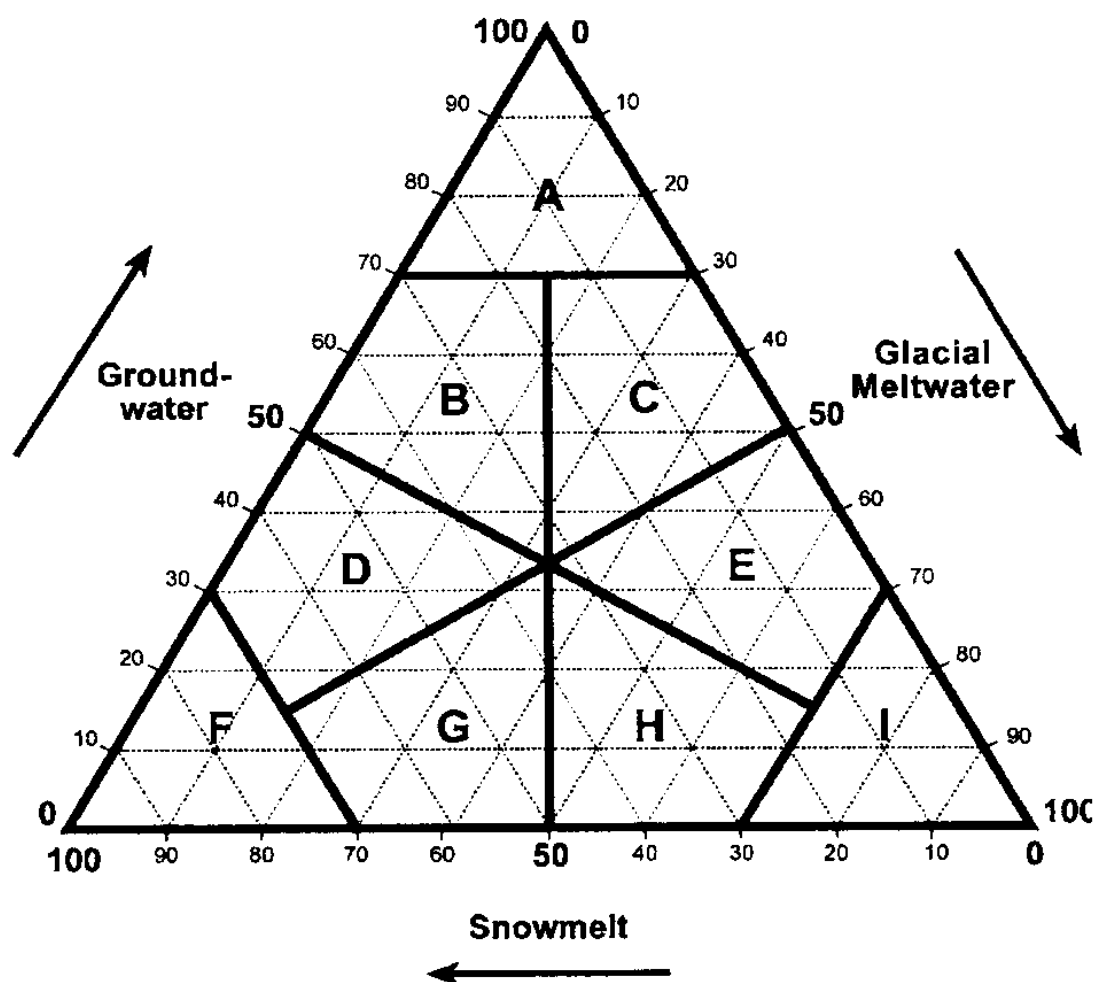


Figura 9 - Grafico rappresentante la classificazione dei torrenti alpini in base all'alimentazione (mod. Brown *et al.*, 2003).

Categoria	Classificazione	Fonte d'alimentazione
A	Krenal	Acque sotterranee elevate (>70%), acque di scioglimento glaciale e nivale <30%.
B	Kreno-nival	Acque sotterranee dominanti (35-70%), contributo nivale > di quello glaciale.
C	Kreno-kryal	Acque sotterranee dominanti (35-70%), contributo glaciale > di quello nivale
D	Nivo-krenal	Acque di scioglimento nivale dominanti (35-70%), contributo delle acque sotterranee > di quello glaciale
E	Kryo-krenal	Acque di scioglimento glaciale dominanti (35-70%), contributo delle acque sotterranee > di quello nivale
F	Nival	Acque di scioglimento nivale elevate (70%), acque di scioglimento glaciale e sotterranee <30%
G	Nivo-kryal	Acque di scioglimento nivale dominanti (35-70%), contributo glaciale > di quello sotterranee
H	Kryo-nival	Acque di scioglimento glaciale dominanti (35-70%), contributo nivale > di quello di base
I	Kryal	Acque di scioglimento glaciale elevate (70%), acque di scioglimento nivale e sotterranee <30%

Tabella 3. - Sommario delle categorie di torrenti d'alta quota secondo Brown *et al.* (2003)

3.4) LA COMUNITA' BENTONICA

«Il torrente alpino offre ai suoi abitanti un rifugio con caratteristiche così marcate, che esse si devono rispecchiare nell'aspetto e nelle abitudini degli animali che lo popolano (Steinmann, 1907).

3.4.1) Generalità

Gli invertebrati che vivono nelle acque correnti vengono suddivisi in micro e macroinvertebrati in base alle loro dimensioni: i primi superano raramente il millimetro di lunghezza mentre i secondi superano quasi sempre il millimetro (Ghetti, 1997).

La fauna bentonica (o zoobenthos) è rappresentata da un insieme di piccoli organismi, che vivono, almeno per una fase della loro vita, a contatto con il substrato.

All'interno della comunità bentonica i macroinvertebrati, in particolare gli insetti, svolgono un ruolo trofico diversificato. Infatti durante il periodo evolutivo dei vari taxa, sono stati sviluppati e acquisiti adattamenti morfologici e comportamentali correlati alle diverse categorie alimentari presenti in un corso d'acqua (Cummins, 1974) (Tabella 4).

Alimento	Descrizione
Detrito o BPOM (Bentic Particulate Organic Matter)	CPOM (Coarse Particulate Organic Matter) materia organica particellata grossolana (>1 mm)
	FPOM (Fine Particulate Organic Matter) materia organica particellata fine (<1 mm)
Periphyton	organismi (sia animali che vegetali) aderenti al substrato o agli steli e alle foglie di piante acquatiche fornite di radici.
Macrofite viventi	Piante acquatiche radicate in alveo.
Prede	invertebrati viventi, prevalentemente specie piccole e specie grandi ai primi stadi vitali

Tabella 4 - Categorie nutrizionali presenti in un corso d'acqua.

In relazione a queste categorie sono stati definiti i gruppi trofico-funzionali dei macroinvertebrati che consentono di distinguere i diversi taxa in base al loro Modo di Nutrizione prevalente (M.N.) (Cummins & Wilzbach, 1985):

- trituratori: triturano foglie e altra materia organica grossolana (CPOM);
- raschiatori: raschiano il sottile strato di alghe e batteri che incrostano le diverse superfici sommerse (Periphyton);
- collettori: si nutrono di detrito organico fine (FPOM), vengono distinti in raccoglitori (raccolgono il particolato organico depositato sul substrato) e filtratori (filtrano il particolato trasportato dalla corrente);
- predatori: catturano e si nutrono di prede.

3.4.2) Zoobenthos alpino

La composizione specifica della comunità zoobentonica cambia con il variare della latitudine e dell'altitudine, per lo più a causa delle variazioni di temperatura. Questo perché la temperatura influisce notevolmente sul metabolismo, la riproduzione e i fenomeni di metamorfosi degli insetti acquatici (Füreder, 1999). Le diverse specie animali hanno sensibilità diverse rispetto alla temperatura. In generale si dividono in specie stenoterme (sopportano solo piccole variazioni di temperatura) e specie euriterme (sopportano ampie variazioni termiche).

Fra gli organismi dei torrenti alpini prevalgono specie stenoterme fredde, che risultano ben adattate alle basse temperature sia estive che invernali di questi ambienti, assieme a specie euriterme alla loro massima estensione altitudinale.

La sopravvivenza al periodo invernale nelle gelide acque dei torrenti è garantita da diverse strategie come l'entrata in diapausa (sospensione e/o riduzione di tutte le attività

biologiche) e la migrazione verso quote minori, soprattutto nel caso in cui il torrente geli o entri in secca.

Queste specie si sono adattate anche all'estrema turbolenza delle acque e alla instabilità del substrato sviluppando diversi adattamenti morfologico-comportamentali. Per impedire un trasporto da parte della corrente, molti organismi zoobentonici hanno sviluppato organi di presa (arti, pseudopodi, ventose e unghie), che nelle specie alpine spesso risultano essere maggiormente accresciuti. Taluni cercano di diminuire la resistenza alla corrente con corpi molto appiattiti (Efemerotteri eptagenidi) mentre altri costruiscono rifugi mobili o fissi (parte dei Tricotteri e alcuni Ditteri Chironomidi).

Le comunità dei torrenti alpini possono quindi essere definite stenozoneali, ovvero estremamente specializzate a questi ambienti. Questa forte specializzazione comporta però una minore resistenza ad eventi estremi tipici di queste zone come i periodi di secca o eventi di piene straordinarie. La minore resistenza tuttavia è bilanciata da una maggior resilienza, ovvero la capacità di questi organismi di ricolonizzare velocemente gli habitat.

Tra gli invertebrati bentonici i gruppi più rappresentati nei tratti fluviali al disopra della linea degli alberi sono: Tricladi, Nematodi, Oligocheti, Idracari, Crostacei, Efemerotteri, Plecotteri, Coleotteri, Ditteri, Tricotteri, mentre sono sempre assenti Molluschi e Irudinei (Maiolini & Lencioni, 2001).

3.5) L'IMPORTANZA DEL DRIFT NEI TORRENTI ALPINI

Le basse temperature invernali sono uno dei fattori che limitano la possibilità di vita in alta quota e anche per questo motivo molti invertebrati hanno scelto i torrenti come habitat in cui trascorrere tutta o quasi la loro esistenza. Nei torrenti infatti la temperatura non scende mai sotto lo zero, anche in pieno inverno, quando scorrono sotto il manto nevoso. L'escursione termica annua è più ridotta rispetto a quella dell'ambiente terrestre; nei fiumi si dispone di un continuo flusso di energia in forma di materia organica più o meno decomposta, non ci sono rischi di disidratazione, ecc. Questa oasi termica tuttavia ha anche svantaggi, primo fra tutti l'impetuosità della corrente che rende l'alveo molto instabile e pertanto gli organismi bentonici corrono il rischio continuo di essere trascinati via, soprattutto in estate.

Gli organismi bentonici pertanto hanno sviluppato diverse strategie per resistere alla corrente: alcuni si rifugiano in microambienti a bassa velocità, (es. Efemerotteri eptagenidi che occupano lo "strato limite" sulla superficie dei sassi sommersi), altri si infossano nel substrato, altri tendono a rifugiarsi sotto i ciottoli, in piccole anse, in pozze, ecc. Altri

hanno sviluppato adattamenti quali la costruzione di astucci pesanti (es. alcuni Tricotteri) e ventose (es. i Ditteri blefariceridi). Altri ancora producono sostanze collose (es. Ditteri Simulidi), presentano forme idrodinamiche (es. Efemerotteri Betidi), potenti unghie che permettono di occupare anche le zone a maggior velocità di corrente (es. alcuni Ditteri Chironomidi).

Tuttavia questi sistemi non sempre funzionano, soprattutto in occasione di piene che sconvolgono il fondo o di cambiamento improvviso della qualità dell'acqua come ad esempio l'intorbidamento a seguito di una frana. In altri momenti può essere necessario abbandonarsi volontariamente alla corrente per sfuggire ad un predatore, o perché c'è troppa competizione per il cibo, o perché il proprio habitat si è deteriorato. In tutti questi casi gli organismi entrano nella corrente e si lasciano trasportare per pochi metri verso valle alla ricerca di un habitat più idoneo dove vivere. Mentre fluttuano sono facilmente visibili e possono diventare facili prede dei pesci, quindi gli invertebrati di maggiori dimensioni (per esempio le larve di molti Plecotteri), tendono ad effettuare gli spostamenti volontari nelle ore crepuscolari o notturne, mentre altri gruppi prediligono le ore centrali del giorno (per esempio i Chironomidi). Questo continuo movimento di organismi verso valle prende il nome di *drift* ed è piuttosto imponente, interessando in qualsiasi momento una consistente percentuale dei milioni di diversi organismi bentonici.

Esistono cinque tipologie di *drift*: catastrofico, comportamentale attivo e passivo, distribuzionale e costante. Il *drift catastrofico* è generalmente associato con cambiamenti improvvisi e consistenti della portata, della velocità, della temperatura dell'acqua o della concentrazione di inquinanti, che causano l'entrata in massa nella corrente della maggior parte della comunità bentonica. Il *drift comportamentale* viene distinto in passivo o attivo. Quello *passivo* è dovuto al tipo di attività di ciascun individuo, che può essere trascinato via dalla corrente mentre si ciba in una zona "a rischio", ad esempio per brucare alghe sulla superficie superiore di massi o sassi. Se invece l'animale si lascia andare volontariamente (ad esempio per sfuggire ad un predatore) si parla di drift comportamentale *attivo*. La frequenza di questi eventi è relativamente bassa e senza una periodicità prevedibile. Per *drift distribuzionale* si intende la migrazione volontaria verso valle di stadi giovanili che, dalle affollate zone di deposizione, tendono ad occupare nuovi territori. Generalmente interessa molti individui ed ha una marcata periodicità. Diverse specie tendono a spostarsi di notte per sfuggire alla predazione da parte di cacciatori a vista come i pesci. Infine, il *drift costante* è definito come dovuto al dislocamento casuale dal substrato di individui in basso numero, e in qualunque periodo dell'anno.

Nel corso della propria vita, ciascuno di questi organismi si ritrova quindi sempre più a valle del luogo dove è nato e non può tornare indietro. Eppure dai tratti a monte continuano ad arrivare nuovi organismi. Come si risolve il problema? Per i non-insetti (Molluschi, Crostacei, Anfipodi, sanguisughe, vermi) la soluzione non c'è e questi, quindi, si limitano a vivere negli ambienti fluviali dove la corrente è meno forte e il fondo è coperto da vegetazione acquatica in mezzo alla quale possono muoversi anche controcorrente. Pochi riescono a risalire verso i più impetuosi torrenti montani e tra questi le piatte planarie, capaci di aderire tenacemente al substrato e risalire, oppure organismi così piccoli (crostacei arpacticoidi, oligocheti) da passare negli interstizi della falda e muoversi in questo ambiente protetto. La soluzione più efficace è senz'altro quella adottata dagli insetti, che vivono la lunga fase larvale discendendo lentamente il fiume e come atto finale si trasformano in adulto alato che torna volando verso monte a deporre le uova e perpetuare il ciclo (è il cosiddetto "ciclo longitudinale di colonizzazione" degli insetti acquatici). Grazie a questo fenomeno infatti, i tratti di fiume che per qualche motivo vengono privati della fauna, sono prontamente ricolonizzati dal drift.

Il fenomeno del *drift* ha molte e importanti implicazioni nell'ecologia di un corso d'acqua essendo responsabile della più opportuna distribuzione degli organismi per l'utilizzazione ottimale delle risorse energetiche, per ricolonizzare in tempi brevi tratti per qualche motivo depauperati e per occupare habitat nuovi. Questa ridistribuzione di organismi è severamente compromessa da tutte le interruzioni della continuità longitudinale dei corsi d'acqua, sempre più frammentati dagli interventi umani, fino alle quote più elevate. Gli individui che driftano nell'arco delle 24 ore possono essere molto numerosi, equivalenti all'intera popolazione zoobentonica presente nei 40 - 150 m a monte.

In generale la composizione della fauna driftante nel settore glaciale di un fiume non corrisponde a quella della fauna bentonica, i taxa meglio adattati a vivere in condizioni estreme quali quelli dei torrenti glaciali, sono solo raramente presenti nel drift. Tali taxa vivono infatti nei torrenti di origine glaciale grazie alla loro scarsa mobilità e alla elevata capacità di aderire al substrato ed in tali ambienti, la loro tendenza al drift comportamentale tende a scomparire. Nel settore non-glaciale del fiume la composizione della comunità driftante è simile a quella del benthos ed in questi tratti fluviali lo studio della comunità driftante è complementare a quello delle comunità bentoniche.

4) I COPEPODI ARPACTICODI

4.1) Introduzione

Considerati come uno dei più abbondanti taxa di Metazoi, i Copepodi (Figura 10) rappresentano il gruppo di Crostacei più grande e diversificato (Boxshall & Defaye, 2008). Attualmente includono circa 11.500 specie (Boxshall, 2004) suddivise in 10 ordini: Platycopioidea, Calanoida, Mormonilloidea, Harpacticoida, Poecilostomatodia, Siphonostomatodia, Monstrilloidea, Misophrioida, Cyclopoida e Gelyelloidea e sembrano superare gli insetti, che hanno un maggior numero di specie ma posseggono un minor numero di individui.

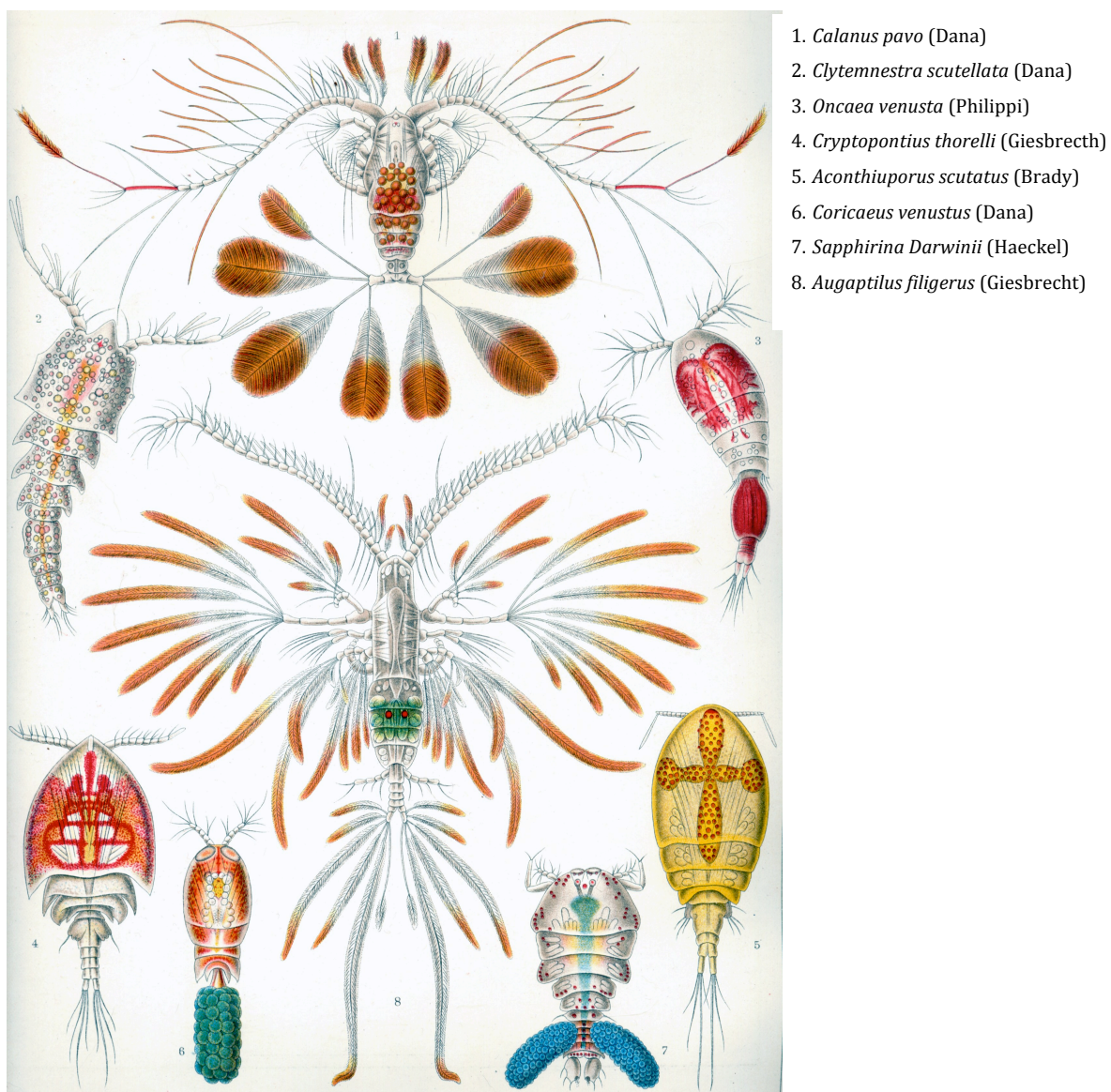


Figura 10 – Rappresentazione dei Copepodi (da Ernst Haeckel, *Kunstformen der Natur* (1904))

I Copepodi sono artropodi molto antichi, anche se non vi sono cospicui reperti fossili che potrebbero facilitare lo studio della loro evoluzione morfologica, fisiologica ed ecologica (Frey, 1964). I dati zoogeografici suggeriscono comunque che la copepodofauna delle acque continentali era già ricca e diversificata nel Terziario (Palmer, 1960, 1969; Cressey e Patterson, 1973). La radiazione adattativa di questo ordine è stata tale da permettere la colonizzazione di qualsiasi ambiente acquatico, dalle acque marine e continentali fino alle acque termali ed all'ambiente subaereo. Quanto premesso consente di comprendere come tra i Copepodi esista una enorme varietà di morfologie che si adattano a speciali condizioni nei vari habitat ("Lebensformtypen", *sensu* Remane, 1952) (Figura 11).

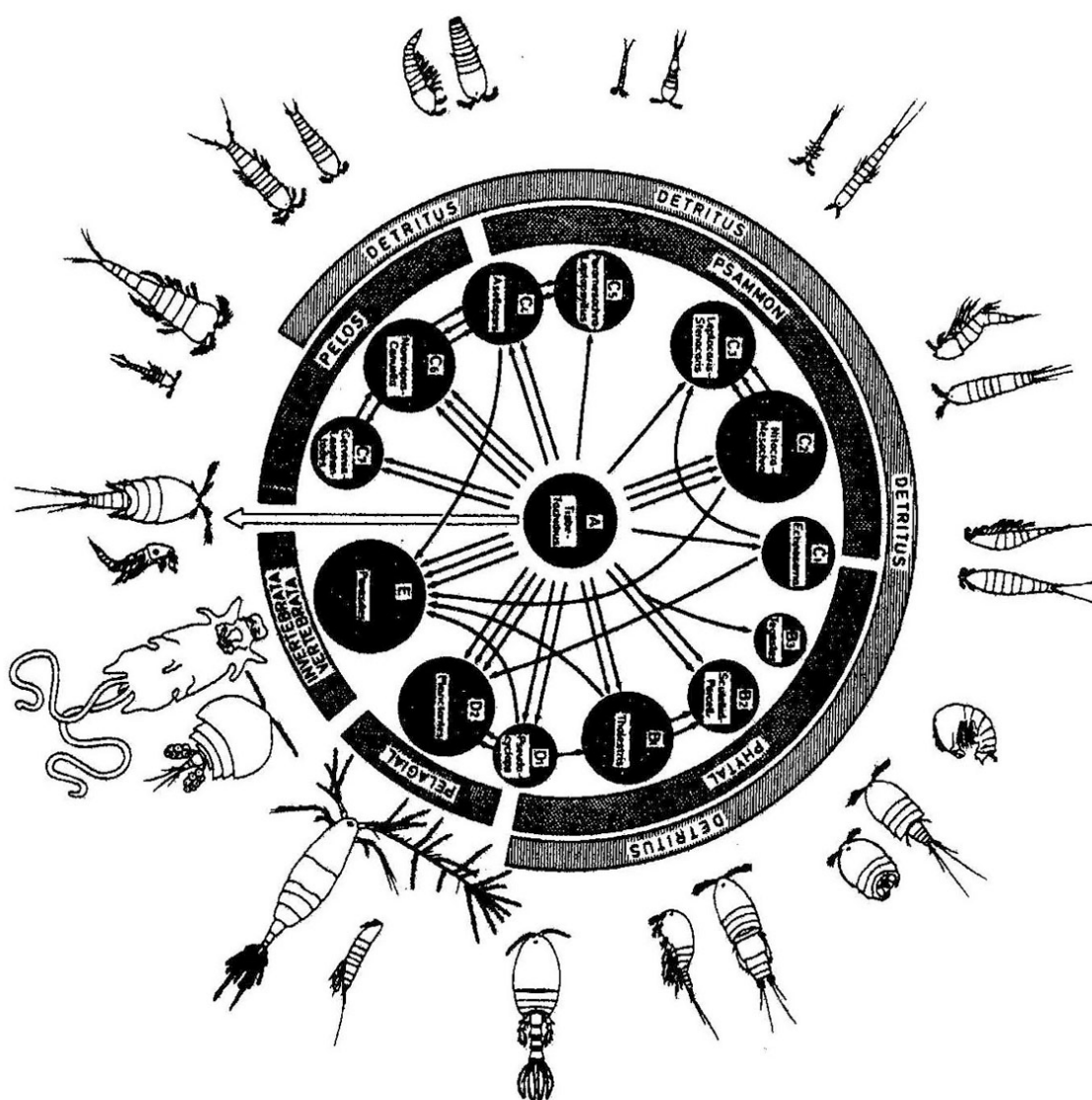


Figura 11 – Varietà morfologiche dei Copepodi (da Remane, 1952)

Gli Arpacticoidi (Figura 12) costituiscono uno degli ordini più importanti tra i dieci compresi nella sottoclasse Copepodi (Huys e Boxshall, 1991). Sono essenzialmente organismi bentonici, poche sono le forme planctoniche (*Microsetella*, *Euterpina*, *Clytemnestra*, *Macrosetella*) o associate ad altri organismi (*Sunaristes*, ad esempio) (Huys e Boxshall, 1991).

La loro taglia è compresa tra gli 0,2 e i 2,5 mm e abbondano in tutti gli ambienti acquatici, da quelli marini e salmastri a quelli di acqua dolce. L'ordine è composto da 1124 specie (Boxshall & Defaye, 2008).

Gli Arpacticoidi possono essere distinti dagli altri due ordini di Copepodi a vita libera, Calanoidi e Ciclopoidi (Figura 12), per i seguenti caratteri (Dussart, 1967):

- posizione dell'articolazione tra prosoma ed urosoma: tra il quinto e il sesto segmento postcefalico in Ciclopoidi e Arpacticoidi, tra il sesto ed il settimo nei Calanoidi;
- antennule: più di 22 segmenti, più lunghe della metà del corpo nei Calanoidi; da 10 a 22 segmenti, che non raggiungono la fine del prosoma nei Ciclopoidi; fino a 10 segmenti negli Arpacticoidi;
- struttura antenne: biramose in Calanoidi ed Arpacticoidi; uniramose (senza esopodite) nei Ciclopoidi.

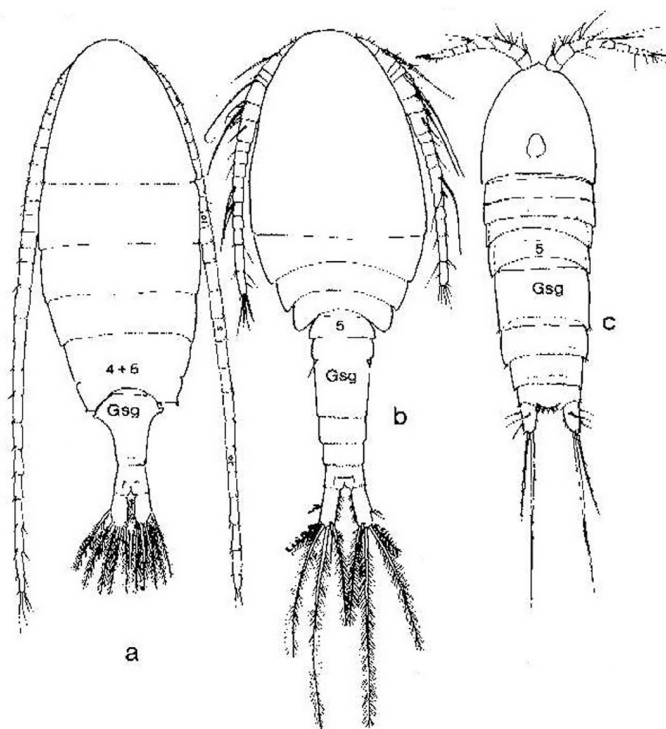


Figura 12 – Rappresentazione schematica dei tre ordini principali dei Crostacei Copepodi: a) Calanoida; b) Cyclopoida; c) Harpacticoida.

Gli Arpacticoidi hanno forma lineare ed il corpo (Figura 13) è suddiviso in due parti principali: anteriore e posteriore. La prima si compone di un cefalosoma e di quattro segmenti toracici i quali costituiscono il metasoma. Il cefalosoma deriva dalla fusione più o meno completa del vero segmento del capo (prosoma) con il primo segmento toracico. Il capo presenta una protuberanza frontale, detta rostro, che può assumere le più svariate forme e presenta sulla sua estremità due papille o setole con probabile funzione sensitiva. Esiste una grande varietà di forme in relazione del tipo di vita: gli Arpacticoidi interstiziali presentano una maggiore varietà morfologica rispetto agli altri gruppi di Copepodi (Marcotte, 1983) e ciò sarebbe dovuto, secondo la teoria di Hutchinson (1959), al fatto che essi sono sottoposti ad una grande varietà di pressioni selettive continuamente variabili nel tempo.

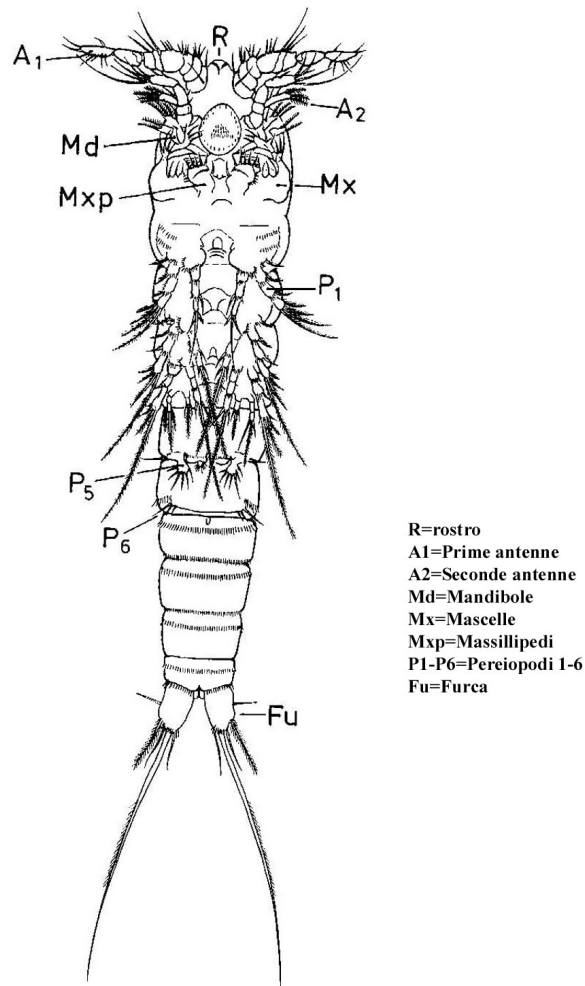


Figura 13 – Rappresentazione schematica di un Copepode Arpacticoido maschio

Gli Arpacticoidi rappresentano il gruppo di Metazoi interstiziali più abbondante dopo i Nematodi (MacIntyre, 1969) ed insieme ai Ciclopoidi hanno invaso gli ambienti di acque sotterranee con un numero di circa 897 specie e sottospecie, appartenenti alle famiglie Canthocamptidae, Parastenocarididae e Ameridae per gli Arpacticoidi e Cyclopidae per i Ciclopoidi (Galassi, 2001).

Fra gli Arpacticoidi che hanno colonizzato le acque sotterranee continentali i Parastenocarididae rappresentano l'equivalente dei Canthocamptidae per le acque superficiali. In entrambi i casi si tratta di due taxa di successo; la famiglia dei Canthocamptidae è quella più grande, comprendente circa 627 specie (Boxshall & Defaye, 2008) ed è rappresentata nei più diversi ambienti e nelle più diverse tipologie di acque continentali, da quelle di alta quota fino a quelle salmastre. Diverse famiglie e molti generi di Arpacticodi sono esclusivi di acque sotterranee (*Itunella*, *Elaphoidella*, *Ceuthonectes*, *Lessinocamptus*, *Paramorariopsis*, *Parastenocaris*, *Simplicaris*, *Delamarella*, *Arenopontia*, *Psammopsyllus* e *Ichnusella*) e presentano i relativi adattamenti biologici, ecologici e morfologici. La famiglia dei Parastenocarididae, almeno per quanto riguarda la distribuzione è ad amplissima diffusione. Si riteneva che questa famiglia avesse rappresentanti di acque sotterranee in climi temperati e specie di acque superficiali in ambienti tropicali ed equatoriali; le più recenti ricerche hanno invece dimostrato come la massima diversità, almeno a livello di genere, si verifichi in acque interstiziali tropicali. Attualmente questa famiglia è in fase di revisione, (Dussart *et al.*, 1999; Reid 1994; Galassi & De Laurentiis, 2004; Karanovic, 2005; Corgosinho & Martínez Arbizu, 2005; Cottarelli *et al.*, 2006). Il genere *Parastenocaris* s.l. (Galassi & De Laurentiis, 2004; Cottarelli *et al.*, 2008) è presente anche nella Regione Afrotropicale, Orientale e Austroasiatica; è il genere con la più ampia distribuzione, ed è attualmente oggetto di un'attenta revisione tassonomica.

4.2) Popolamenti di Arpacticoidi in ambienti di media e alta quota italiani

Negli ultimi anni si è cercato di colmare le scarse notizie sulla presenza di questi organismi nell'arco alpino. Questo è vero in particolare per quel che riguarda gli Arpacticoidi di ambienti cavernicoli, di sorgente ed iporreici (Crema *et al.*, 1996; Stoch, 1998; Gerecke & Cantonati, 1998; Jersabeck *et al.*, 2001; Cottarelli *et al.*, 2002; Raschioni *et al.*, 2007).

Per quel che riguarda le sorgenti, sono state effettuate ricerche nel Parco Naturale delle Prealpi Giulie (Stoch, 1993, 1997, 2003) a quote comprese tra i 350 e i 1085 m s.l.m. che hanno evidenziato come l'ordine dei Copepodi Arpacticoidi sia dominante per il numero di

specie e di individui. Questo non è stato verificato per le sorgenti campionate nel Parco Naturale dell'Adamello Brenta (Stoch, 1998; Gerecke & Cantonati, 1998) e in tutte le altre sorgenti alpine studiate (Crema *et al.*, 1996). Nelle Prealpi Giulie l'elevata diversità di Copepodi è da attribuire alla presenza nell'area di specie stigobie, cioè esclusive di acque sotterranee, presenti sia nelle sorgenti che scaturiscono da alluvioni (*Acanthocyclops hispanicus*) che in quelle provenienti da calcari (rappresentanti del genere *Elaphoidella*). L'assenza di stigobi nelle sorgenti alpine, localizzate a quote più elevate, è presumibilmente da imputarsi all'effetto depauperante delle glaciazioni quaternarie. La ricolonizzazione di questi ambienti da parte delle specie stigobie non è stata possibile nel post-glaciale, vista la loro limitata capacità di dispersione (Crema *et al.*, 1996), mentre è stata effettuata dalle specie di superficie, crenobie e crenofile (Stoch, 1998).

Anche nel Parco delle Prealpi Giulie comunque l'effetto delle glaciazioni si è fatto sentire in modo marcato (Colla & Stoch, 2002); tuttavia la zona glacializzata qui risulta limitata e marginale; è poi presente un grande reticolo carsico sotterraneo, che ha avuto presumibilmente una funzione di massiccio di rifugio per le specie stigobie (Stoch, 2003).

Altre ricerche effettuate sulle acque carsiche sotterranee delle Alpi Carniche (Stoch, 2004), sui Monti Musi (Colla *et al.*, 2000), nelle Valli del Torre (Stoch, 1993) e nelle Valli del Natisone (Stoch, 1997) hanno evidenziato, come in precedenza, una buona presenza di specie stigobie di notevole significato ecologico e biogeografico (generi *Parastenocaris*, *Lessinocamptus*, *Paramorariopsis*, *Diacyclops* e *Speocyclops*)

La presenza di specie stigobie caratterizza anche gli ambienti acquatici appenninici sia di sorgente che di superficie (Pesce, 1996). Ricerche sul sistema sorgivo di Presciano nel Parco Nazionale del Gran Sasso-Monti della Laga (Fiasca *et al.*, 2004) hanno evidenziato come questo sistema ecotonale sia caratterizzato da un'elevata diversità del popolamento a Copepodi. La componente sotterranea è addirittura più rappresentativa di quella superficiale e caratterizzata dalla presenza di specie rare ed endemiche come *Nitocrella pescei* (Galassi & De Laurentiis, 1997b) ed *Elaphoidella mabelae* (Galassi & Pesce, 1991). Nella tabella 5 è riportato l'elenco delle specie raccolte in studi effettuati sia su sistemi acquatici alpini e pre-alpini (località 1, Monte Pastello: Mezzanotte & Sambugar, 2004; località 2: Crema *et al.*, 1996; località 3: Stoch, 2006; località 4: Stoch, 1993, 2003; località 5: Stoch, 1998b; località 6: Stoch & Tomasin, 2002) sia sugli Appennini centrali (località 7, Maiella: Di Lorenzo *et al.*, 2003; località 8, Gran Sasso-Monti della Laga: Pesce *et al.*, 1995; Pesce, 1996; Galassi, 1997; Galassi & De Laurentiis, 1997a, b; D'Ambrosio *et al.*, 2003; Fiasca *et al.*, 2004) con le caratteristiche ecologiche.

Arpacticoidi	Località 1	Località 2	Località 3	Località 4	Località 5	Località 6	Località 7	Località 8	Ecologia
<i>Attheyella (Attheyella) crassa</i> (G.O. Sars, 1863)	+	+	+			+	+	+	ss
<i>A. (A.) wierzejskii</i> (Mrázek, 1893)		+	+	+	+				ss
<i>A. (Brehmiella) paranaphtalica</i> (Pesce & Galassi, 1988)							+	+	sf
<i>Bryocamptus (Articocamptus) abnobensis</i> (Kiefer, 1929)									ss
<i>B. (A.) alpestris</i> (Vogt, 1845)			+						ss
<i>B. (A.) cuspidatus</i> (Schmeil, 1893)		+	+		+				ss
<i>B. (A.) rhaeticus</i> (Schmeil, 1893)		+	+	+	+				ss
<i>B. (A.) vandouwei</i> (Kessler, 1914)									ss
<i>B. (Bryocamptus) minutus</i> (Claus, 1863)								+	ss
<i>B. (B.) pygmaeus</i> (G.O. Sars, 1863)		+	+	+	+	+	+	+	ss
<i>B. (Limocamptus) echinatus</i> (Mrázek, 1893)	+	+	+	+	+		+	+	sf
<i>B. (Rheocamptus) tatrensis</i> (Minkiewicz, 1916)	+	+	+	+	+	+			ss
<i>B. (R.) typhlops</i> (Mrázek, 1893)							+	+	sf
<i>B.(R.) zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	+	+	+		+		+	+	ss
<i>Ceuthonectes serbicus</i> (Chapuis, 1924)	+					+			sb
<i>Echinocamptus pilosus</i> (Van Douwe, 1911)				+					sf
<i>Elaphoidella cvetkae</i> (Petrovski, 1893)				+				+	sb

<i>P. crenobia</i> (Galassi, 1997)							+	*		sb	
<i>Pseudectinosoma reductum</i> (Galassi & De Laurentiis, 1997)									+	*	sb
<i>Simplicaris lethaea</i> (Galassi & De Laurentiis, 2004)									+	*	sb

Tabella 5 – Elenco delle specie raccolte in studi effettuati su sistemi acquatici alpini e pre-alpini (località 1: Mezzanotte & Samburag, 2004; località 2: Crema *et al.*, 1996; località 3: Stoch, 2006; località 4: Stoch, 1993, 2003; località 5: Stoch, 1998b; località 6: Stoch & Tomasin, 2002) e sugli Appennini centrali (località 7, Maiella: Di lorenzo *et al.*, 2003; località 8, Gran Sasso-Monti della Laga: Pesce *et al.*, 1995; Pesce, 1996; Galassi, 1997; Galassi & De Laurentiis, 1997a, b; D'ambrosio *et al.*, 2003; Fiasca *et al.*, 2004) con le caratteristiche ecologiche (ss = stigosseno; sf = stigofilo; sb = stigobionte). Le specie endemiche per l'Italia sono marcate con asterisco

5) MATERIALI E METODI

5.1) Area di studio

5.1.1) Inquadramento geografico

I principali torrenti indagati durante lo svolgimento di questo studio sono stati il torrente Noce Bianco, il Rio Larcher e il Rio Careser nel Parco Nazionale dello Stelvio (settore trentino), affluenti del Torrente Noce, tributario dell'Adige (Figura 14) ed i torrenti Conca e Rio Bedù nel Parco Naturale Adamello Brenta, affluenti del fiume Sarca, tributario del Po (Figura 15).



Figura 14 – Bacino dell'Adige (da www.bacino-adige.it)



Figura 15 – Bacino del Po (da www.adbpo.it)

Il Parco Nazionale dello Stelvio (Figura 16) istituito con Legge n. 740 del 24 aprile 1935 e successivamente regolamentato nel 1951, ha una superficie di quasi 135.000 ettari (1350 km²), ed è l'area protetta più estesa dell'Italia. Il suo territorio, nel cuore delle Alpi Centrali, si estende tra le provincie di Sondrio, Brescia, Trento e Bolzano e proprio per la sua ampia estensione è caratterizzato da una vasta gamma di ambienti e da valori di altitudine compresi tra i 650 m e i 3899 m s.l.m. (Monte Ortles). In questo contesto, nel settore trentino, s'inserisce Val de la Mare (Figura 14); questa si trova nella parte settentrionale della Val di Peio, ha un dislivello compreso tra 3769 (Monte Cevedale) e i 1160 m s.l.m (Conga di Cogolo); la superficie totale è di 68 km²; la lunghezza maggiore (dal Passo della Forcola alla conca di Cogolo) è di circa 7 km. Il valico della Forcola (3032 m s.l.m.) mette in comunicazione la Val de la Mare con la Val Martello, a Nord, e la Bocchetta di Saënt con la Val di Rabbi, a Est. Il profilo longitudinale è interrotto da due gradini di valle, rispettivamente tra Malga Prabòn e Malga Mare (con 150 m di dislivello), e tra Malga Mare e Pian Venezia (con 250 m di dislivello).



Figura 16 – Parchi del Trentino Alto Adige (da www.magicoveneto.it)

La Val de la Mare è incisa nel basamento cristallino della Falda dell'Ortles, unità superiore del Sistema Austroalpino delle Alpi Orientali. Il basamento è costituito da rocce metamorfiche (paragneiss, micascisti e filladi) derivate da una successione di rocce sedimentarie (areniti e peliti) di probabile età paleozoica inferiore, metamorfosate durante l'orogenesi ercinica (antico processo di deformazione e corrugamento della crosta terrestre verificatosi fra 380 e 240 milioni di anni fa).

Dal punto di vista climatico, la Val de la Mare è situata in una fascia di passaggio tra una zona a Nord ad influsso continentale, con un massimo delle precipitazioni in estate, e una

zona a Sud ad influsso mediterraneo, con precipitazioni prevalentemente primaverili ed autunnali. La transizione si realizza mediante un aumento delle precipitazioni invernali e di quelle nelle due stagioni intermedie ed una graduale diminuzione di quelle estive.

Val de la Mare comprende la porzione superiore del bacino idrografico del Torrente Noce (Figura 17) e si estende tra circa 1950 (bacino di sedimentazione di Malga Mare) e 3768 m s.l.m. (Monte Cevedale). Tale bacino comprende a sua volta il sottobacino del Noce Bianco (21,4 km²) e quello del Careser (14,5 km²) (Boscaini *et al.*, 2003).

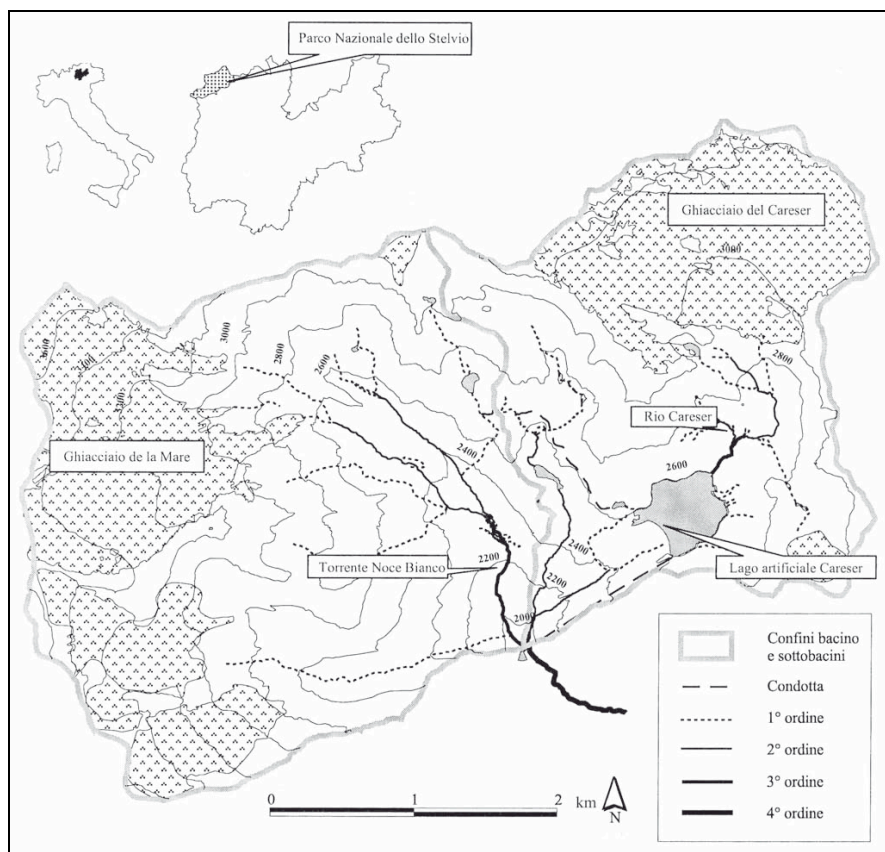


Figura 17 – Sottobacino del torrente Noce

In Val de la Mare (Figura 18) sono presenti 5 apparati glaciali di cui 4 glacionevati, per una superficie totale di 13.7 km². Sul versante destro della valle si trovano la Vedretta de la Mare (4.75 km²), la Vedretta Venezia (1.71 km²), la Vedretta Rossa (1.24 km²) e tre glacionevati: i ghiacciai di Vallengaia (0.36 km²), della Cima di Rocca (0.09 km²) ed un'altra unità di 0.27 km² sul versante Sud-Est della Vedretta Rossa. Sul versante sinistro si trovano la Vedretta del Careser, che con i suoi 4.83 km² è il terzo ghiacciaio del Trentino, la Vedretta del Cavaion (0.26 km²) ed il glacionevato delle Marmotte (0.15 km²). Dal fronte della Vedretta de La Mare nasce, alla quota di 2710 m s.l.m., il torrente glaciale Noce Bianco. Dopo circa due chilometri arriva in Pian Venezia dove, alla quota di 2270 m s.l.m., riceve le acque del rio Larcher, un torrente originato da nevai e falde freatiche, per poi proseguire la sua corsa verso valle in direzione del paese di Cogolo.

L'area è priva di vie percorribili con mezzi motorizzati ma è attraversata da numerosi sentieri. In diverse zone (es. Pian Venezia) si pratica anche un moderato alpeggio bovino. L'opera che ha modificato maggiormente il paesaggio della valle è certamente la diga del Careser, costruita tra gli anni '20 e gli anni '30, a 2603 m s.l.m. Il bacino artificiale del Careser, che ha un volume d'invaso di circa 16 milioni di m³, è uno dei più elevati d'Europa. Ad esso sono associate una serie di opere di presa realizzate mediante traverse di alveo che si connettono a canalizzazioni in galleria o sub-affioranti.



Figura 18 – Veduta di Val de La Mare (foto B. Maiolini)

Nel complesso queste canalizzazioni captano gran parte delle acque superficiali della Val Lagolungo, in cui si trovano i laghi Marmotte, Lungo e Nero. Il bacino è collegato con una condotta forzata alla centrale di Malga Mare (1964 m s.l.m.) e tramite questa alla centrale di Pont (1208 m s.l.m.). Nella valle il limite superiore della vegetazione arborea si trova a circa 1800-2000 m s.l.m. ed in essa nasce il Noce Bianco, tributario di sinistra del Torrente Noce. Il 50% circa della copertura del bacino idrografico del Noce Bianco (superficie = 35.9 km²) è rappresentata da roccia, il 34% da ghiacciai e il 17% da pascolo, mentre la copertura a cembreto e lariceto e le acque superficiali rappresentano una piccola percentuale del bacino. Il ramo principale è alimentato dalla Vedretta de la Mare, il cui fronte si trova a 2710 m s.l.m. (rilievo MTSN, settembre 2000). Questo scorre per circa 2 km attraversando una estesa piana alluvionale fino a raggiungere Pian Venezia. Qui, alla quota di 2270 m, le sue acque si uniscono a quelle del suo principale tributario, di origine non glaciale, il Rio Larcher. Il tributario nasce a circa 2700 m s.l.m., nei pressi del Rifugio Larcher, è alimentato da nevai e dalla falda di un laghetto di circo ormai asciutto, e scorre

per 2.5 km prima di giungere in Pian Venezia. A monte della sua confluenza con il Noce Bianco riceve le acque dell'emissario del Lago Marmotte. In Pian Venezia confluiscono nel Noce Bianco, dalla destra orografica, anche le acque di altri due torrenti, uno ad alimentazione glaciale (Rio Catena Rossa), l'altro (Rio Le Scaie), di origine non glaciale.

In tutti i bacini idrografici considerati domina la copertura a roccia, presente in percentuali variabili dal 46 al 98% , fanno eccezione il bacino del Rio Careser (superficie = 11.0 km²), in cui prevale la copertura a ghiacciai (44%), e il bacino del Rio Lago Lungo (superficie = 3.5 km²), in cui prevale la copertura a pascolo (51%). In Val de la Mare sono presenti anche numerosi specchi d'acqua, ma solamente tre sono abbastanza estesi da poter essere considerati laghi (profondità ≥ 1 m, superficie ≥ 2000 m²): il Lago delle Marmotte, il Lago Lungo e il Lago Nero, tutti e tre di origine glaciale, di piccole dimensioni e di scarsa profondità.

Il Parco Naturale Adamello Brenta (Figura 19) si estende per una superficie di circa 61.800 ettari (618 km²) e può essere suddiviso in due zone: quella del massiccio sedimentario carbonatico del Brenta e quella del massiccio intrusivo-metamorfico dell'Adamello-Presanella. I suoi limiti geografici sono (Gorfer, 1975):

- ✓ Nord: Passo del Tonale (1883 m s.l.m.) e Val di Sole;
- ✓ Sud: Passo di Croce Domini (1895 m s.l.m.) e Valle di Caffaro;
- ✓ Est: Valle del Meledrio, Passo Campo Carlo Magno (1682 m s.l.m.), Val Rendena (Sarca), Passo di Bondo (817 m s.l.m.) e Valle del Chiese;
- ✓ Ovest: Val Camonica (Oglio).

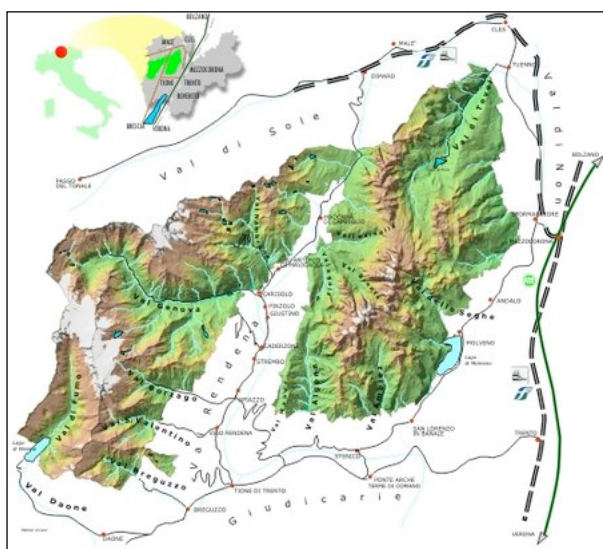


Figura 19 – Parco Naturale dell'Adamello Brenta (da www.pnab.it)

Nel gruppo montuoso Adamello-Presanella si trova la Val di Conca, che si sviluppa su un dislivello compreso tra 3462 (Monte Carè Alto) e 1300 m s.l.m.; questa valle comprende il torrente glaciale Conca ed il suo tributario non glaciale Rio Bedù.

La Val di Conca (Figura 20) presenta il tipico paesaggio generato dall'azione passata e presente di un sistema glacializzato. E' una piccola vallata ad U la cui forma è dovuta all'azione erosiva del ghiacciaio che, con il suo movimento e la sua massa, genera un fondovalle molto più "morbido" di quello a V di un corso fluviale. Nella parte medio-alta vi sono numerosi paleocanali, che anticamente ospitavano diversi tratti del torrente glaciale. Queste strutture, ormai abbandonate, insieme ad altre simili sui lati dell'alveo attuale, indicano un'intensa attività glaciale passata, che lentamente è andata diminuendo.

Il massiccio Adamello-Presanella, separato dalla Val Genova nelle porzioni dell'Adamello (3539 m s.l.m.) e della Presanella (3558 m s.l.m.), è sempre stato oggetto d'interesse storico e scientifico e mentre in passato ospitava il limite tra l'Impero Austro-Ungarico e il regno d'Italia oggi quello tra la Lombardia ed il Trentino (Bernasconi, 2005).

Da un punto di vista geolitologico il gruppo dell'Adamello-Presanella costituisce la sommità affiorante di un plutone formatosi circa 35-40 milioni di anni fa per solidificazione di magmi acidi (Baroni & Carton, 1987; Bombarda, 1994). Questi litotipi silicatici sono affioranti in alcuni punti, mentre in molti altri i depositi quaternari, come detriti di versante, accumuli di frana, depositi di *debris-flow*, depositi di versante e *rock-glaciers* (Sartori *et al.*, 2005), sono superficialmente più importanti.



Figura 20 – Veduta della Val di Conca (foto B. Maiolini)

5.1.2) Stazioni di campionamento

Nel corso della ricerca che va dal 2001 al 2005 sono state indagate complessivamente 21 stazioni dislocate nei sistemi fluviali di Val de La Mare e Val di Conca, comprese tra i 2703 e 1200 m s.l.m e distribuite su 5 torrenti (Tabella 6). Di queste stazioni, sei (NB1, NB2, NB3, CR1, CR2, C3) si trovano su torrenti ad alimentazione strettamente glaciale (kryal), quattro (C4, C8, NB4, NB5) su tratti ad alimentazione mista con prevalenza di acque glaciali (kryal-rhithral), sette (C7, CR1bis, C3, NB1bis, NB2bis, NB3bis, NB7) su tratti ad alimentazione mista con prevalenza di acque di precipitazione (kreno-rhithral) ed infine quattro (NBAR1, NBAR3, NBAR4, NBAR5) su sistemi alimentati da sorgenti (krenal).

N.	Stazione	Altitudine m.s.l.m.	Tipologia	Località	Torrente
1	C3	2500	Kryal	Carè Alto	Conca
2	C4	2400	Kryal-rhithral	Carè Alto	Conca
3	C7	2500	Kreno-rhithral	Carè Alto	Conca
4	C8	1800	Kryal-rhithral	Carè Alto	Rio Bedù
5	CR1	2694	Kryal	Careser	Rio Careser
6	CR1bis	2694	Kreno-rhithral	Careser	Rio Careser
7	CR2	2642	Kryal	Careser	Rio Careser
8	CR3	1985	Kreno-rhithral	Careser	Rio Careser
9	NB1	2650	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
10	NB1bis	2703	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
11	NB2	2455	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
12	NB2bis	2525	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
13	NB3	2270	Kryal	Val de La Mare	Noce Bianco
14	NB3bis	2270	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Rio Larcher
15	NB4	2257	Kryal-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
16	NB5	1980	Kryal-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
17	NB7	1200	Kreno-rhithral	Val de La Mare	Noce Bianco
18	NBAR1	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
19	NBAR3	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
20	NBAR4	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher
21	NBAR5	2270	Krenal	Val de La Mare	Rio Larcher

Tabella 6 - Stazioni di campionamento

5.2) Tecniche di campionamento in ambiente superficiale ed in ambiente iporreico

Le principali tecniche utilizzate in ambiente superficiale per la raccolta semi-quantitativa dei Copepodi Arpacticoidi sono state quelle del retino immanicato per il metodo del kick-sampling, del retino da drift e dei tubi superficiali.

Per quanto riguarda il metodo del kick sampling, in ogni stazione sono stati raccolti 5 campioni di zoobenthos usando un retino immanicato con maglie di 100 μm . Il retino veniva poggiato sul fondo del corso d'acqua con l'apertura perpendicolare al flusso della corrente (Figura 21). Per la raccolta di ogni campione, di fronte all'apertura del retino, veniva "disturbata" un'area di 0,1 m² smuovendo con i piedi il sedimento ed i ciottoli del fondo. Le superficie "disturbate" sono state scelte tra i diversi microhabitat rappresentativi (raschi, pozze, ecc.) di ogni stazione, campionando il maggior numero possibile di microhabitat.

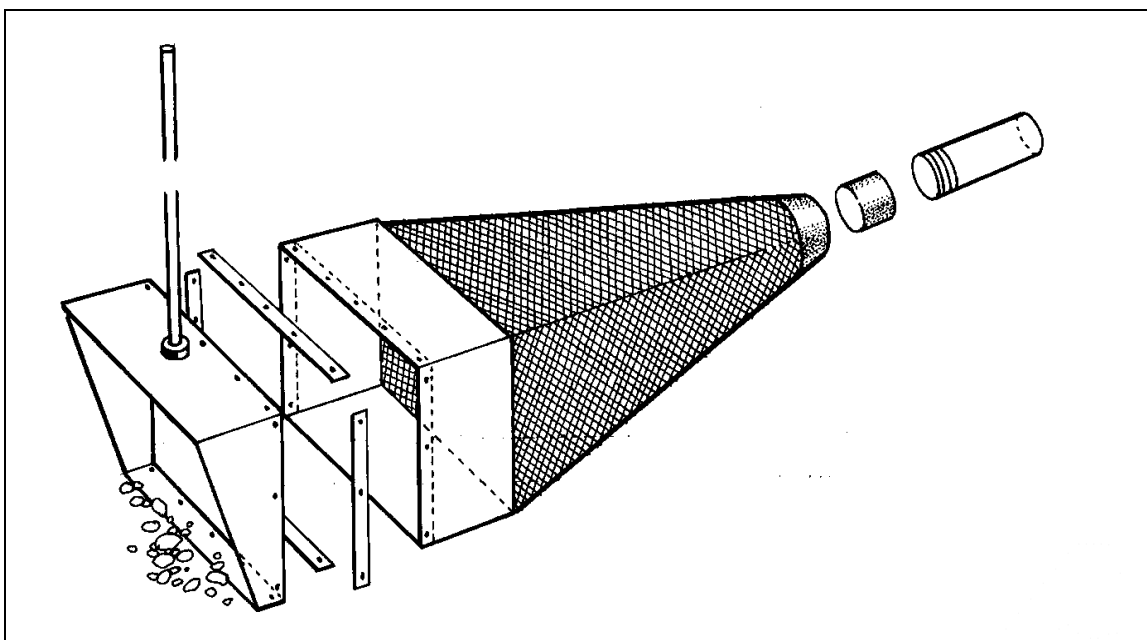


Figura 21 - Retino immanicato utilizzato per la raccolta del macrobentos (Ghetti, 1997).

I retini da drift di maglia 100 μm , apertura 10 cm e lunghezza 1 m (Figura 22) venivano posizionati vicino al fondo in zone poco profonde lungo un transetto di tre retini perpendicolare alla corrente raccogliendo per 15 minuti gli organismi che venivano trasportati a valle dalla corrente stessa.



Figura 22 - Retino da drift (foto B. Maiolini)

I tubi superficiali (Figura 23) in numero di tre, lunghi 1 metro e di 15 cm di diametro venivano posizionati affiancati nell'alveo del torrente, chiusi a monte ed aperti a valle. Su di essi sono state praticate delle aperture coperte da rete di nylon a maglia sottile per favorire la circolazione dell'acqua all'interno. Ogni tubo conteneva tre sacchetti (chiamati "A", "B", "C", da valle a monte) costituiti da rete a maglie di 1 cm riempiti con ciottoli e ghiaia per un'area complessiva di circa 1 m².



Figura 23 - Tubi superficiali (foto B. Maiolini)

I tubi sono stati scaricati e riposizionati in alveo ogni 15 giorni e l'abbondanza

dei diversi taxa nei sacchetti è stata espressa come numero di individui/m². I campioni raccolti con questi substrati hanno permesso di studiare la risalita controcorrente degli organismi bentonici poiché la loro colonizzazione era possibile solo da valle verso monte. In ambiente iporreico sono state utilizzate le seguenti tecniche: trappole a bottiglia, tubi orizzontali e pompa Bou-Rouch.

Le trappole "a bottiglia" sono state costruite usando bottiglie di plastica da 1 litro in cui il terzo superiore è stato tagliato e reinserito capovolto (Figura 24). Le bottiglie sono state quindi trasformate in trappole "tipo nasse" e posizionate entro i primi 30 centimetri di profondità in posizione verticale (6 per stazione) con l'apertura verso l'alto. Sono state svuotate e riposizionate ogni 15 giorni. Con questo substrato sono stati raccolti campioni

qualitativi della fauna iporreica e bentonica che utilizza l'ambiente iporreico come "area rifugio".



Figura 24 - Trappole "a bottiglia" (foto B. Maiolini)

I tubi orizzontali (Figura 25), costituiti da tre tubi in plastica lunghi 1 m e con diametro di 6.5 cm, venivano inseriti a circa 10 cm di profondità e con apertura rivolta solo verso valle. Ogni tubo era diviso in due metà e riempito con



Figura 25 – Tubi orizzontali (foto B. Maiolini)



Figura 26 – Pompa Bou-Rouch (foto B. Maiolini)

ciottoli prelevati in alveo (Figura 25). I tubi sono stati scaricati e riposizionati in alveo ogni 15 giorni. L'abbondanza dei diversi taxa è stata espressa come numero di individui/m². I campioni raccolti con questi substrati hanno permesso di studiare il movimento di risalita valle-monte di organismi iporreici e bentonici.

Infine è stata utilizzata una pompa Bou Rouch (Figura 26), tecnica standard per la raccolta di fauna iporreica (Malard, 2003). La pompa Bou-Rouch consiste in una pompa a mano, fissata su un piezometro (un tubo appuntito di acciaio, provvisto di fori all'estremità), che viene inserito a varie

profondità nel sedimento. L'azione della pompa crea un disturbo che è sufficiente a dislocare gli organismi iporreici. A causa dell'elevata portata, la pompa Bou-Rouch permette di raccogliere sia organismi che nuotano tra gli interstizi, che organismi legati al substrato. Il metodo Bou-Rouch può essere utilizzato correttamente solo quando lo strato di sedimento è abbastanza profondo da consentire l'inserzione del piezometro, e quando la granulometria del sedimento non è né troppo elevata (impossibile inserire il piezometro), né troppo ridotta (i sedimenti fini ostruiscono la pompa). Per ciascun campionamento il piezometro è stato inserito ad una profondità di circa 30 cm; sono stati raccolti e filtrati 10 litri di acqua; la densità degli organismi è stata espressa con la formula n/m^3 (n = numero individui raccolti).

5.3) Identificazione dei taxa

Tutto il materiale raccolto è stato filtrato con maglie da 100 micron sul campo e conservato in alcol etilico al 75%. In laboratorio si sono svolti lo smistamento e la classificazione del materiale utilizzando uno stereomicroscopio (5-50X). L'identificazione degli "organismi non Copepodi" ha raggiunto il livello tassonomico richiesto dal metodo I.B.E. (Indice Biotico Esteso; Ghetti, 1997). Gli Arpacticoidi sono stati identificati a livello di specie, sesso e stadio riproduttivo (Dussart, 1967; Einsle, 1993; Cottarelli, 2004; Stoch, 1996). Quando necessario alcuni esemplari sono stati dissecati e montati su portaoggetti in liquido di Faure, che ha azione diafanizzante e fissatrice. Gli esemplari così preparati sono stati studiati utilizzando un microscopio Zeiss Axioskop a contrasto di fase, impiegando, secondo necessità, ingrandimenti 125X, 250X, 500X e 1250X.

5.4) Analisi dei dati

Tutti dati raccolti e classificati sono stati infine computerizzati e variamente elaborati per l'analisi statistica considerando il numero medio di individui per campione. I vari test sono stati svolti utilizzando i software STATISTICA, PRIMER 6 ed EXCEL, che hanno anche permesso la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti.

Per descrivere la struttura della comunità studiata sono stati utilizzati l'indice di diversità specifica H' (Shannon e Weaver, 1949), l'indice di ricchezza specifica (Margalef, 1958), l'indice di equiripartizione (o uniformità o eveness) E (Pielou, 1966).

Si tratta di parametri indicatori del grado di complessità delle biocenosi studiate, che prescindono, però, dalle caratteristiche e dalle esigenze delle singole specie che le compongono.

L'indice di diversità specifica, compreso tra 0 e, teoricamente, $+\infty$, tiene conto sia del numero di specie presenti che del modo in cui gli individui sono distribuiti fra le diverse specie.

Viene calcolato con la seguente formula:

$$H' = -\sum [(N_i / N) \log (N_i / N)]$$

In questa formula N rappresenta il numero totale di individui e N_i è il numero degli individui della specie i-esima. Questo indice misura la quantità di informazioni relative alle specie che abitano un determinato ambiente.

L'indice di ricchezza specifica prende in considerazione il rapporto tra il numero di specie totali e il numero totale di individui in una comunità. Quante più specie sono presenti nel campione, tanto più alto sarà tale indice. Viene calcolato con la seguente formula:

$$D = (S-1) / \log N$$

dove S è il numero totale di specie della comunità ed N il numero totale di individui e minimizza l'effetto della dimensione del campione.

L'indice di equiripartizione, E, viene espresso dalla formula :

$$E = H' / H_{\max}$$

dove $H_{\max}$ è pari al $\log S$; tale valore rappresenta la diversità massima possibile per una comunità che ha un numero S di specie. L'indice di Pielou esprime, dunque, il rapporto tra la diversità reale misurata e la diversità massima teorica permessa dal numero di specie osservato. E, o evenness (equiriparizione o omogeneità), rende conto di quanto la diversità sia dovuta ad un equilibrato rapporto numerico tra le specie, piuttosto che al numero delle specie stesso.

6) RISULTATI

6.1) Analisi dei parametri di comunità

Nei 5 anni di campionamento sono stati indagati tre sistemi, il Careser (CAR) nel 2001-2002-2003 e 2005, la Val de La Mare (VDM) dal 2001 al 2005 ed il Carè Alto (CA) nel 2005. Complessivamente sono stati raccolti 16.600 arpacticoidi, di cui 2.867 copepoditi ai primi stadi non identificati, e 13.733 adulti e copepoditi agli ultimi stadi identificati secondo Dussart (1967), Einsle (1993), Cottarelli (2004) e Stoch (1996). Sono stati identificati complessivamente 15 taxa, attribuiti a 5 generi tutti della famiglia Canthocamptidae (Tabella 7).

Specie	N. tot. individui
<i>Maraenobiotus insignipes</i> (Lillijeberg, 1902)	1
<i>Maraenobiotus vej dovskyi</i> (Mrázek, 1893)	12
<i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i> (Gurney, 1932)	1
<i>Maraenobiotus vej dovskyi zschokkei</i> (Kreis, 1920)	3
<i>Epactophanes richardi</i> (Mrázek, 1893)	3
<i>Moraria alpina</i> (Stoch, 1998)	168
<i>Bryocamptus</i> (<i>B.</i>) <i>pygmaeus</i> (G.O. Sars, 1863)	10
<i>Bryocamptus</i> (<i>R.</i>) <i>zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	2011
<i>Bryocamptus</i> (<i>A.</i>) <i>cuspidatus</i> (Schmeil, 1893)	9937
<i>Bryocamptus</i> (<i>A.</i>) <i>rhaeticus</i> (Schmeil, 1893)	335
<i>Bryocamptus</i> (<i>A.</i>) cfr <i>vandouwei</i> (Kessler, 1914)	11
<i>Bryocamptus</i> (<i>A.</i>) <i>alpestris</i> (Vogt, 1845)	406
<i>Bryocamptus</i> (<i>L.</i>) <i>echinatus</i> (Mrázek, 1893)	154
<i>Hypocamptus paradoxus</i> (Kreis, 1926)	640
<i>Hypocamptus ruffoi</i>	41
Totale	13.733

Tabella 7 – Elenco specie trovate

La figura 27 rappresenta il numero di specie e il numero totale di individui (abbondanza) raccolti in ogni singolo sistema e la tabella 8 l'elenco delle specie raccolte.

Nel Careser sono state trovate complessivamente 11 specie per un totale di 2069 individui; in Val de La Mare 15 specie per un totale di 10192 individui e nel Carè Alto 7 specie per un totale di 932 individui.

La differenza riscontrata tra il numero di specie ed i sistemi è risultata statisticamente significativa (ANOVA 1 criterio di classificazione, $F_{9,62}$, $P = 0,000088$) mentre non si è verificato altrettanto per la differenza tra l'abbondanza ed i sistemi (ANOVA 1 criterio di classificazione, $P > 0,05$). I diversi valori riferiti al numero di specie raccolte nei diversi sistemi sono dovuti principalmente al diverso sforzo di campionamento; nel Careser infatti sono stati effettuati 41 campionamenti, in Val de La Mare 256 e nel Carè Alto 20.

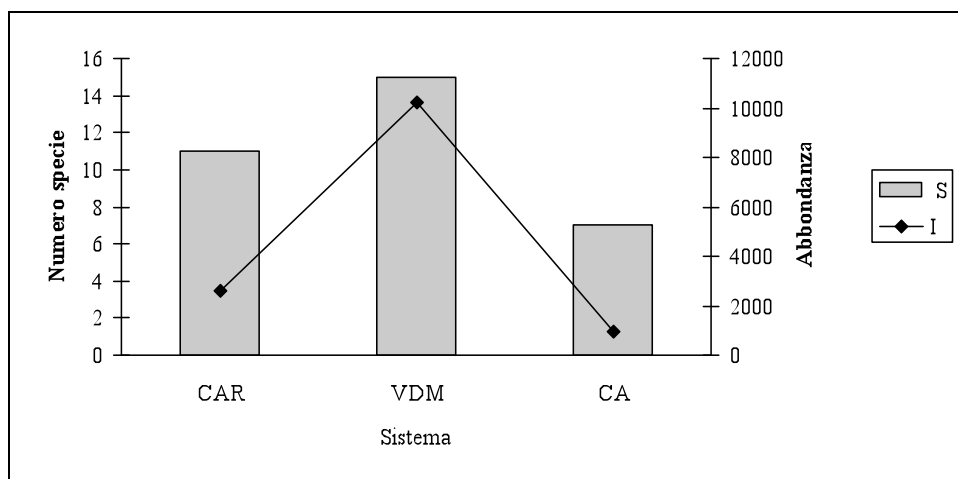


Figura 27 - Numero di specie (S) e totale di individui (I) nei tre sistemi

Specie	CAR	VDM	CA
<i>Maraenobiotus insignipes</i> (Lillijeberg, 1902)		+	+
<i>Maraenobiotus vejovskyi</i> (Mrázek, 1893)	+	+	
<i>Maraenobiotus vejovskyi truncatus</i> (Gurney, 1932)		+	
<i>Maraenobiotus vejovskyi zschokkei</i> (Kreis, 1920)	+	+	
<i>Epactophanes richardi</i> (Mrázek, 1893)		+	
<i>Moraria alpina</i> (Stoch, 1998)	+	+	+
<i>Bryocamptus</i> (B.) <i>pygmaeus</i> (G.O. Sars, 1863)	+	+	+
<i>Bryocamptus</i> (R.) <i>zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	+	+	+
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>cuspidatus</i> (Schmeil, 1893)	+	+	
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>rhaeticus</i> (Schmeil, 1893)	+	+	+
<i>Bryocamptus</i> (A.) cfr <i>vandouwei</i> (Kessler, 1914)		+	+
<i>Bryocamptus</i> (A.) <i>alpestris</i> (Vogt, 1845)	+	+	+
<i>Bryocamptus</i> (L.) <i>echinatus</i> (Mrázek, 1893)	+	+	
<i>Hypocamptus paradoxus</i> (Kreis, 1926)	+	+	
<i>Hypocamptus ruffoi</i>	+	+	
Totale	11	15	7

Tabella 8 – Elenco delle specie raccolte nei singoli sistemi

Sulla base di queste differenze di campionamento, il sistema di Val de La Mare (VDM) è stato scelto come sistema di riferimento. Il sistema è stato indagato con continuità per tutta la durata della ricerca e sono state impiegate tutte le tecniche di raccolta possibili. Gli altri due sistemi, Careser (CAR) e i Carè Alto (CA), sono stati utilizzati come sistemi di confronto per alcune variabili.

Analizzando gli indici di diversità nei tre sistemi (Figura 28) è emerso che l'indice di Shannon (H') assume il suo valore più alto nel sistema del Carè Alto ($H' = 1,23$), e questo perché, anche se sono state raccolte poche specie, queste sono ben distribuite e non vi è, come per gli due sistemi, la presenza di una specie dominante e di tante specie rare o sporadiche.

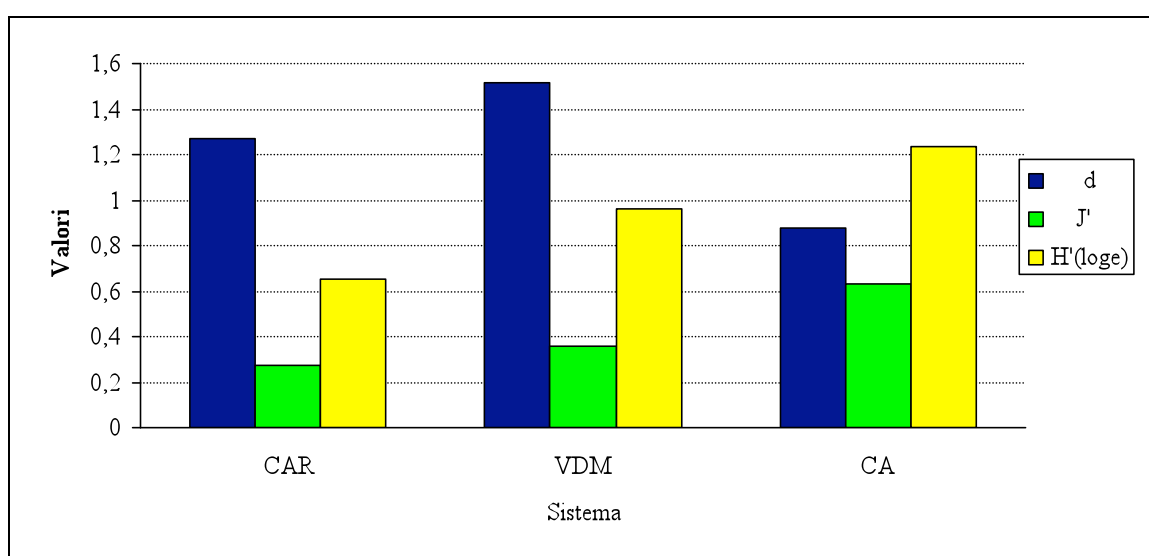


Figura 28 - Indici di Margalef (d), Pielou (J') e Shannon (H') nei tre sistemi

Nella figura 29 è rappresentato il numero medio di individui raccolti nei singoli sistemi. Sia nel Careser che in Val de La Mare la specie più abbondante è risultata *Bryocamptus Arcticocamptus cuspidatus*, seguita da *Bryocamptus (R.) zschokkei*, *Hypocamptus paradoxus* e *Bryocamptus Arcticocamptus alpestris*. Nel sistema Carè Alto la specie più abbondante è *Bryocamptus (R.) zschokkei*; non sono stati raccolti individui appartenenti alla specie *H. paradoxus*.

Nella tabella 9 è riportata la lista delle specie campionate alle diverse fasce altitudinali ed alle diverse tipologie fluviali.

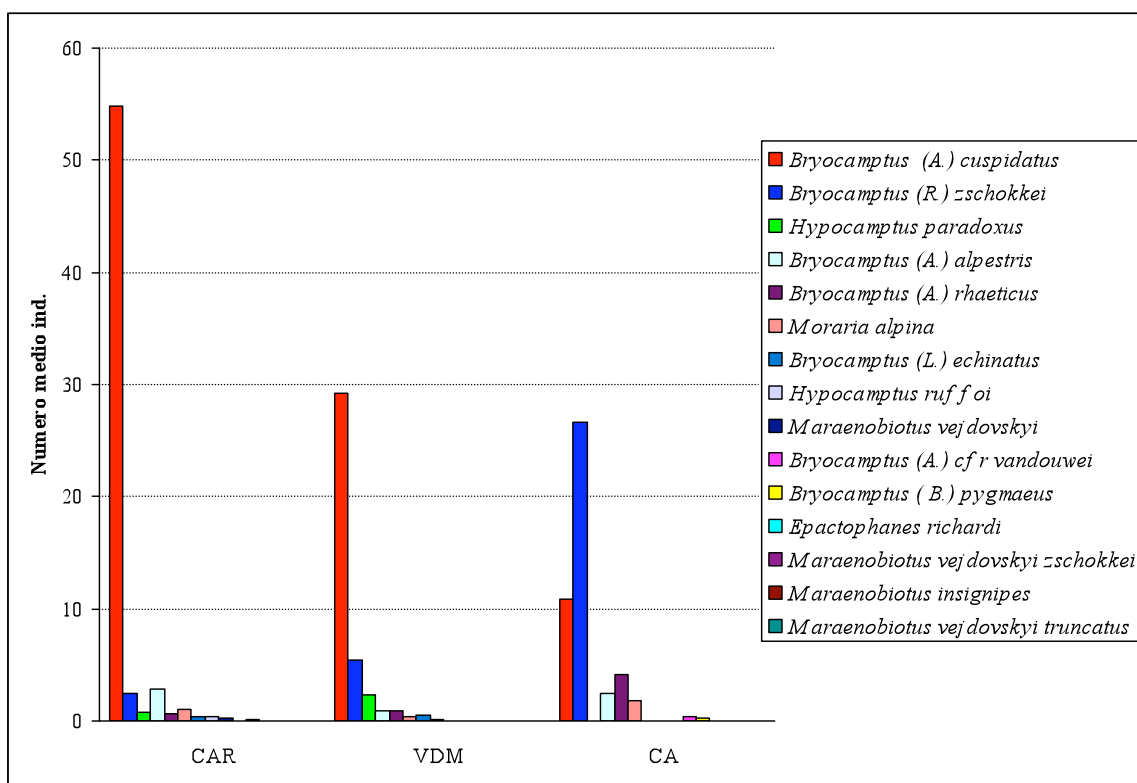


Figura 29 – Numero medio di individui presenti nei singoli sistemi

Specie	Quota1	Quota2	Glaciali	Non Glaciali
<i>Maraenobiotus insignipes</i>	+		+	
<i>Maraenobiotus vej dovskyi</i>	+		+	
<i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i>	+			+
<i>Maraenobiotus vej dovskyi zschokkei</i>	+		+	+
<i>Epactophanes richardi</i>		+		+
<i>Moraria alpina</i>	+	+	+	+
<i>Bryocamptus (B.) pygmaeus</i>	+	+		+
<i>Bryocamptus (R.) zschokkei</i>	+	+	+	+
<i>Bryocamptus (A.) cuspidatus</i>	+	+	+	+
<i>Bryocamptus (A.) rhaeticus</i>	+	+	+	+
<i>Bryocamptus (A.) cfr vandouwei</i>	+	+	+	+
<i>Bryocamptus (A.) alpestris</i>	+	+	+	+
<i>Bryocamptus (L.) echinatus</i>	+	+	+	+
<i>Hypocamptus paradoxus</i>	+	+	+	+
<i>Hypocamptus ruffoi</i>	+	+	+	+

Tabella 9 – Lista specie raccolte nelle diverse fasce altitudinali e tipologie fluviali

6.2) Il sistema Val de La Mare e confronti con i sistemi del Careser e del Carè Alto

Il sistema Val de La Mare, come detto in precedenza, è stato utilizzato come sistema di riferimento; in esso è stata indagata la distribuzione delle specie in relazione alla quota, alle diverse tipologie fluviali. Si è analizzata in maggior dettaglio la distribuzione dei taxa in rapporto alle diverse tecniche di raccolta impiegate ed alle stagioni.

Tutti i dati ottenuti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA, 1 via di classificazione) ed i valori sono stati riportati nella tabella 10.

Per quanto riguarda la quota, sono state considerate due fasce altitudinali, una che comprende le quote tra i 2700 e 2000 m s.l.m. (QUOTA1) ed una che comprende le quote tra i 1200 e 1999 m s.l.m. (QUOTA2). E' stata scelta la quota 2000 m s.l.m. come "spartiacque" perché questa, sulle Alpi, si riferisce a quella fascia altitudinale che si estende dal limite della vegetazione arborea fino agli ultimi lembi di vegetazione continua prima delle nevi perenni, nota come fascia alpina (Minelli *et al.*, 2002).

La figura 30 evidenzia che il maggior numero di specie in VDM è stato catturato tra 2000 e 2700 m s.l.m. (14 specie) (222 campionamenti) per un numero medio di 45 individui mentre tra i 1200 e 1999 m s.l.m. sono state catturate 8 specie (34 campionamenti) per un valore medio di 8 individui. Dal confronto degli indici emerge che la QUOTA2 mostra i valori più alti di diversità ($H' = 1,44$), mentre la QUOTA1 si caratterizza per i valori più alti di ricchezza in specie ($d = 1,41$) (Fig. 31).

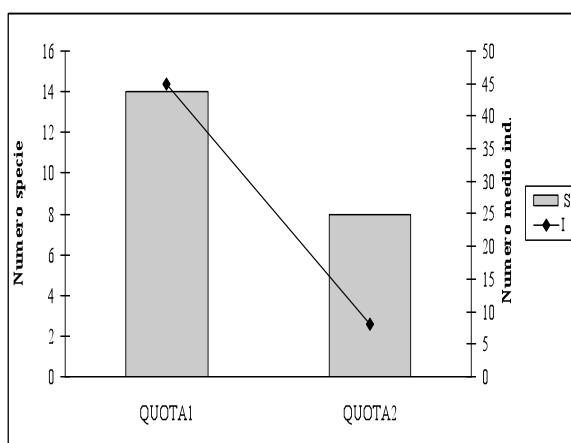


Fig. 30 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) in VDM

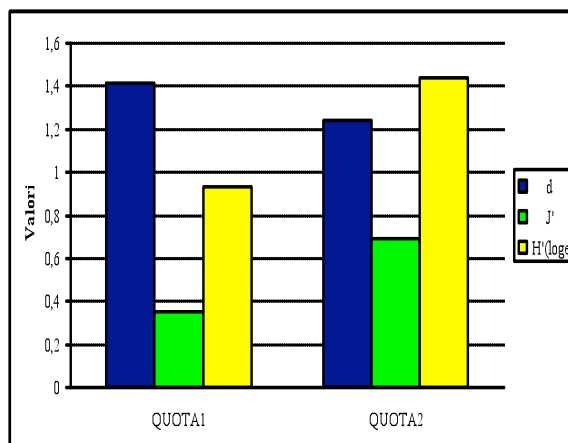


Fig. 31 – Indici di Margalef (d), Pielou (J') e Shannon (H') in VDM

Fra le specie catturate nella fascia altitudinale QUOTA1, *Bryocamptus (A.) cuspidatus* è risultata la specie più abbondante (75%); seguono *Bryocamptus (R.) zschokkei* (13%) ed *Hypocamptus paradoxus* (6%). Nella QUOTA2 invece, la specie più abbondante è

Bryocamptus (R.) *zschokkei* (45%) seguita da *Bryocamptus* (A.) *cuspidatus* (26%), *Hypocamptus paradoxus* (11,5%) e *Bryocamptus* (A.) *rhaeticus* (11,2%) (Figura 32).

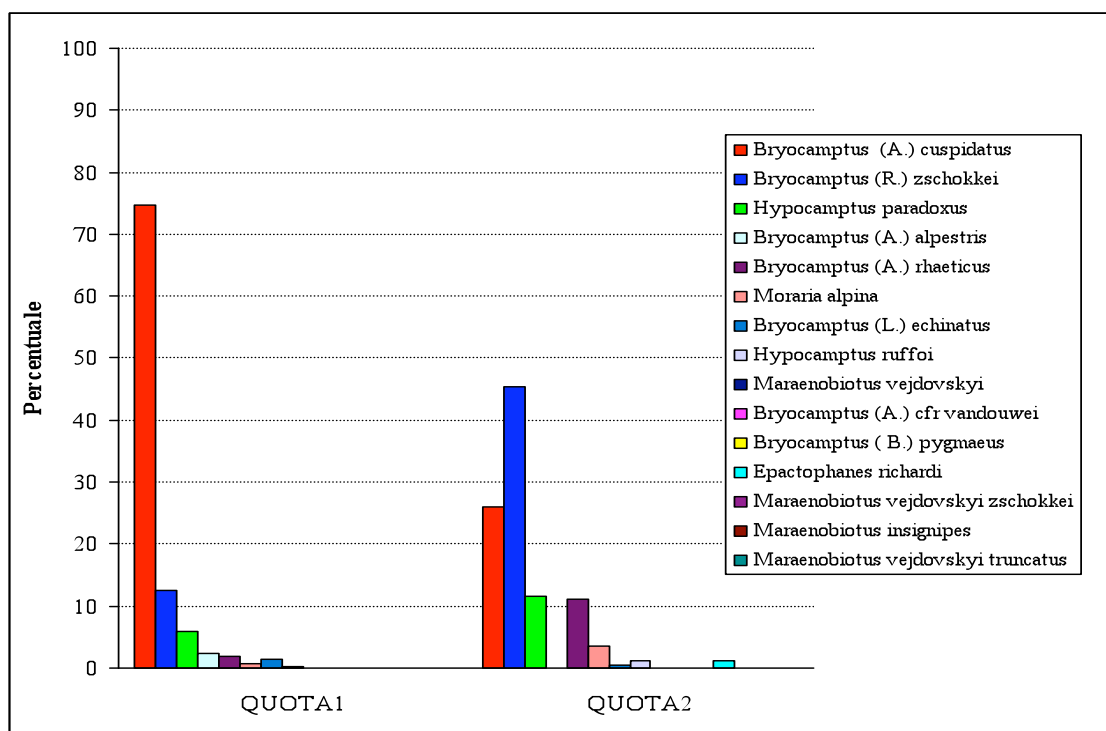


Figura 32 – Percentuale delle specie presenti nelle diverse fasce altitudinali in VDM

Stessa situazione è stata riscontrata nel Careser. Come mostrato nella figura 33, alla QUOTA1 (29 campionamenti) è stato raccolto il maggior numero di specie (10) ed il maggior numero di individui (67 individui medi) e dal confronto degli indici (Figura 34), è emerso che la QUOTA2 mostra il valore più alto di diversità ($H' = 0,8$) e di equiripartizione ($J' = 0,4$).

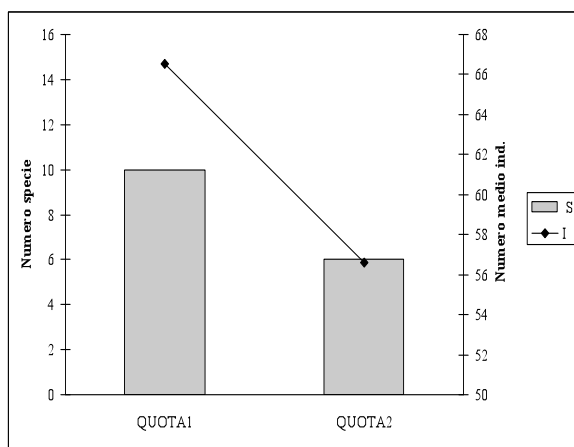


Fig. 33 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) nel CAR

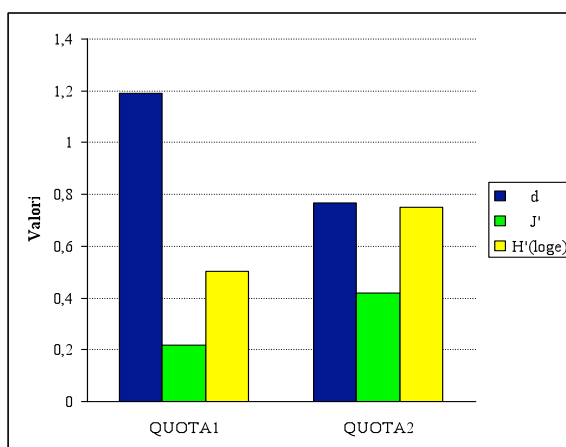


Fig. 34 – Indici di Margalef (d), Pielou (J') e Shannon (H') nel CAR

Nel Careser la specie maggiormente presente nelle due fasce altitudinali è *Bryocamptus* (*A.*) *cuspidatus* presente rispettivamente con una percentuale dell'89 e 79% (Figura 35).

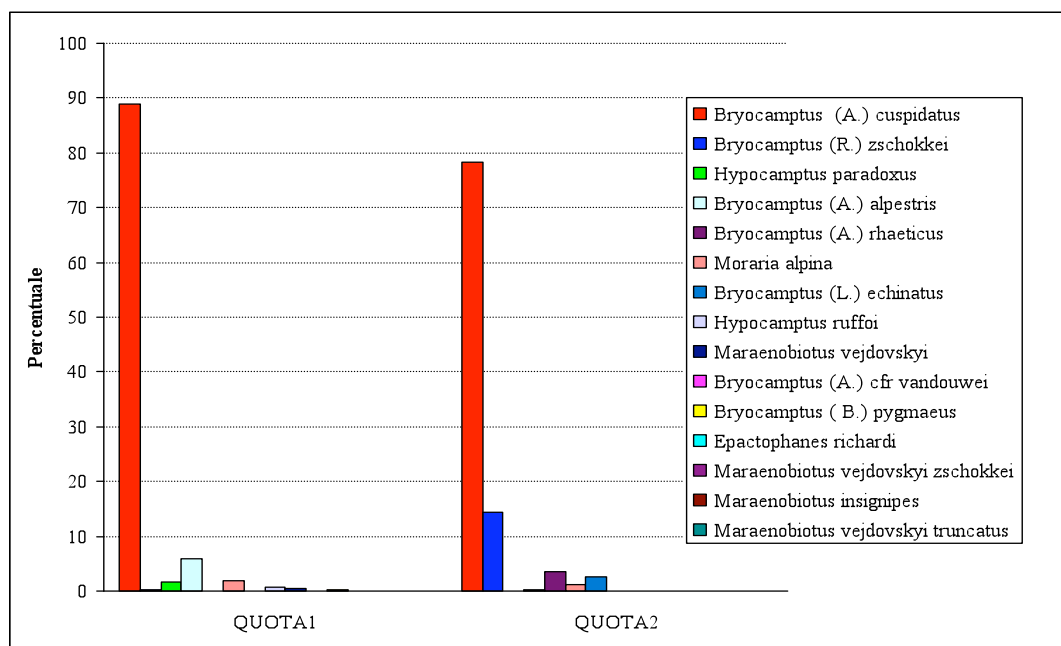


Figura 35 – Percentuale delle specie presenti nelle diverse fasce altitudinali nel CAR

Situazione diversa invece è stata riscontrata nel Carè Alto. Come mostrato nella figura 36, il numero maggiore di specie (7) e di individui (114) è stato raccolto alla QUOTA2 in cui sono stati effettuati complessivamente 6 campionamenti mentre dal confronto degli indici (Figura 37) è emerso che la QUOTA1 mostra il valore più alto di diversità ($H' = 1,4$) e di equiripartizione ($J' = 0,8$).

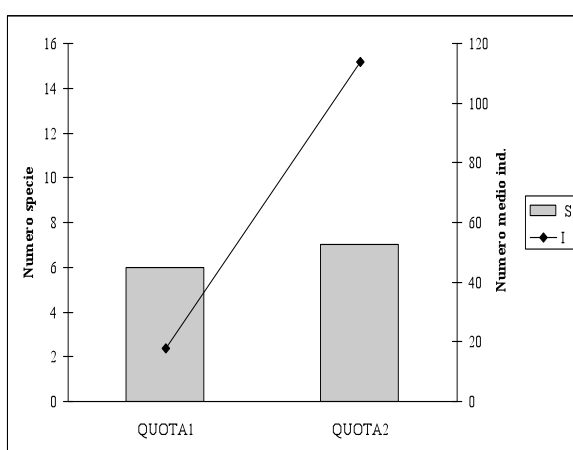


Fig. 36 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) nel CA

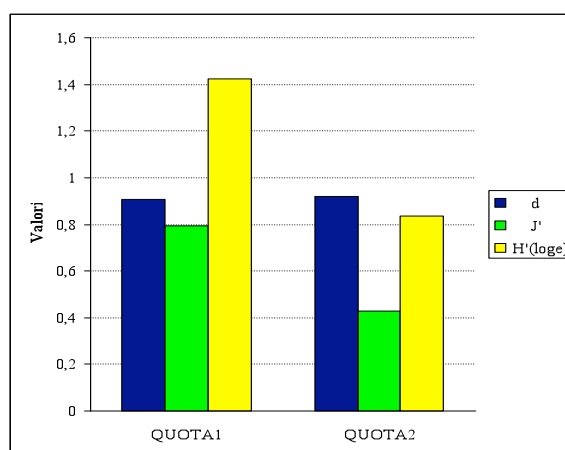


Fig. 37 – Indici di Margalef (d), Pieolu (J') e Shannon (H') nel CA

La distribuzione delle specie raccolte in questo sistema rispecchia in parte quella riscontrata in VDM; alle quote comprese tra i 2700 e 2000 m s.l.m., *Bryocamptus* (*A.*)

cuspidatus presente con una percentuale del 45%, è come in VDM, la specie più abbondante. Seguono però *Bryocamptus (A.) rhaeticus* (26%), *Bryocamptus (A.) alpestris* (15%) e *Bryocamptus (R.) zschokkei* (6%) determinando una diversa composizione quantitativa della taxocenosi.

Alle quote comprese tra i 1200 e 1999 m s.l.m. la sequenza è determinata da *Bryocamptus (R.) zschokkei* (76%) seguito da *Bryocamptus (A.) cuspidatus* (15%) (Figura 38).

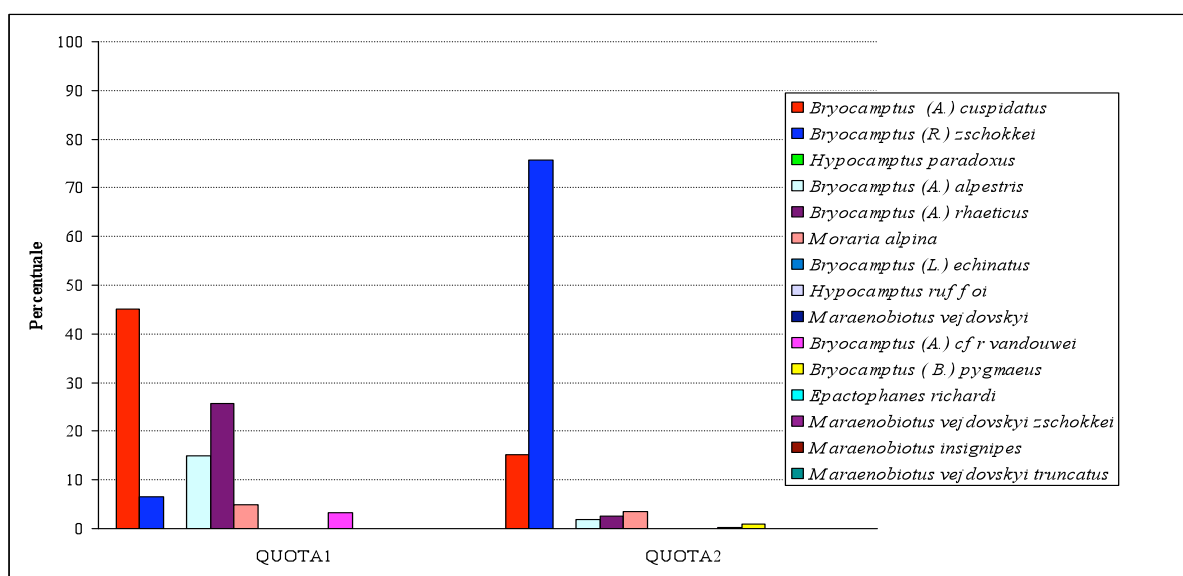


Figura 38 – Percentuale delle specie presenti nelle diverse fasce altitudinali nel CA

Nei confronti delle diverse tipologie fluviali, è stata indagata la distribuzione dei taxa confrontando le acque glaciali con quelle non glaciali.

La figura 39 evidenzia che nelle acque ad alimentazione glaciale del sistema VDM (106 campionamenti), nonostante queste siano caratterizzate da condizioni ambientali limitanti come elevata portata, bassa temperatura dell'acqua ed elevata turbolenza, sono state raccolte comunque 11 specie, per un numero medio di 11 individui. Nelle acque non glaciali (150 campionamenti) sono state rinvenute 13 specie per un numero medio di 60 individui.

Dal confronto degli indici è emerso che la diversità assume il valore più alto nelle acque glaciali ($H' = 1,23$) (Figura 40). Ne consegue che anche se le acque non glaciali ospitano un numero più elevato di specie e presentano una maggiore stabilità ambientale, la diversità ecologica è inferiore; ne deriva che le ulteriori specie riscontrate in questa tipologia fluviale sono rare e sporadiche.

Nelle acque glaciali domina *Hypocamptus paradoxus* (53%) seguito da *Bryocamptus (A.) cuspidatus* (26%), *Bryocamptus (R.) zschokkei* (12%) e *Bryocamptus (A.) alpestris* (3,4%) (Figura 41).

Nelle acque non glaciali è stata ritrovata una taxocenosi caratterizzata dalla dominanza di *Bryocamptus (A.) cuspidatus* (79%) seguito da *Bryocamptus (R.) zschokkei* (14%). Le uniche specie non rinvenute in questa tipologia fluviale, *Maraenobiotus vej dovskyi* e *Maraenobiotus insignipes* sono invece presenti in acque glaciali (Figura 41).

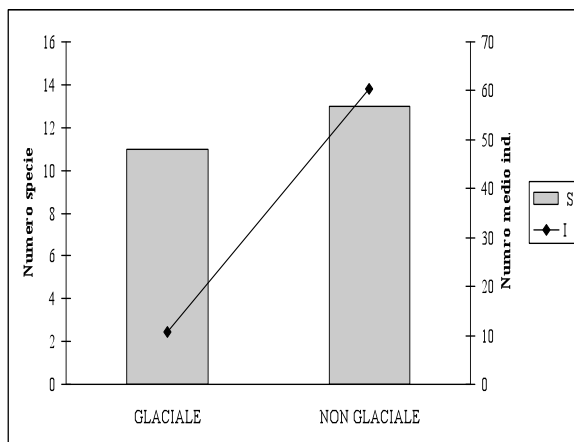


Fig. 39 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) in VDM

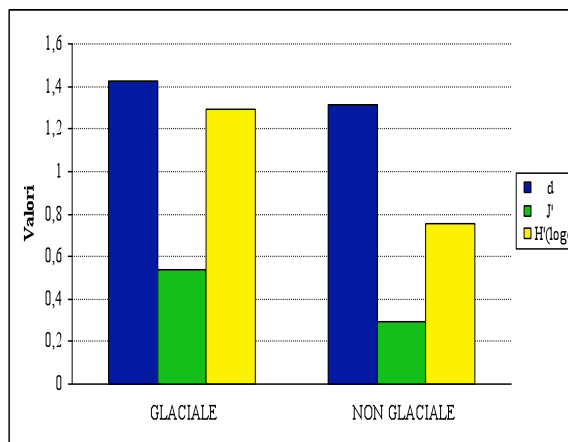


Fig. 40 – Indici di Margalef (d), Pieolu (J') e Shannon (H') in VDM

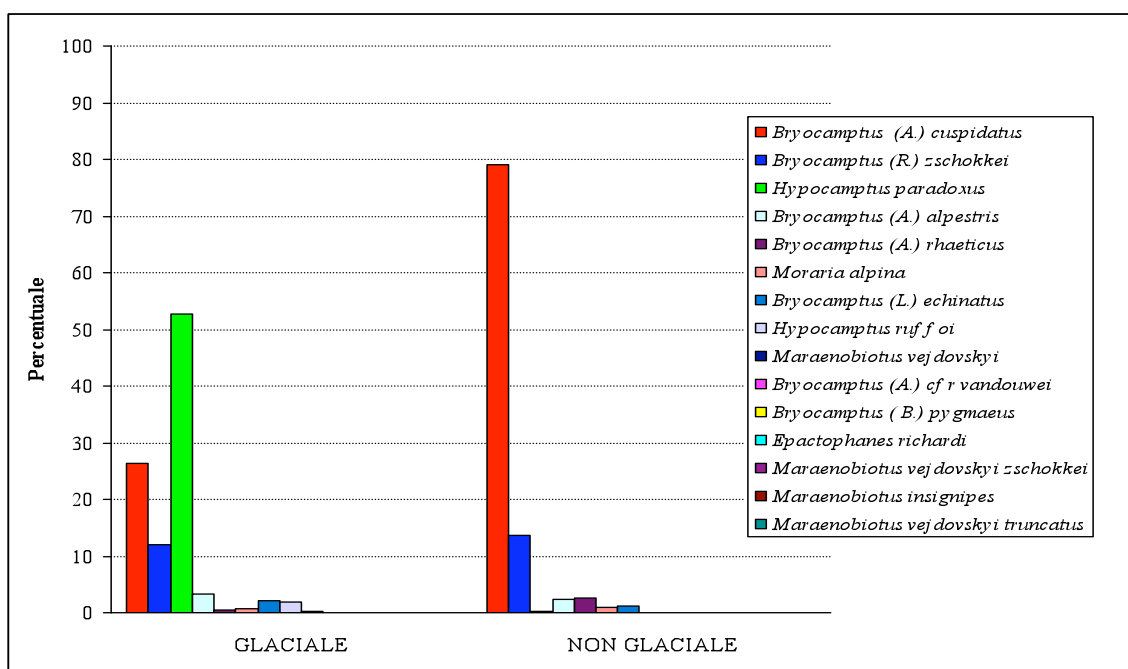


Figura 41 – Percentuale delle specie presenti nelle diverse tipologie fluviali in VDM

Nel Careser, come in Val de La Mare, i valori relativi al numero di specie ed al numero medio di individui raccolti sono più alti nelle acque non glaciali (Figura 42). Anche in questo sistema, in base al confronto degli indici è emerso che la diversità assume il valore più alto nelle acque glaciali ($H' = 1,3$) (Figura 43)

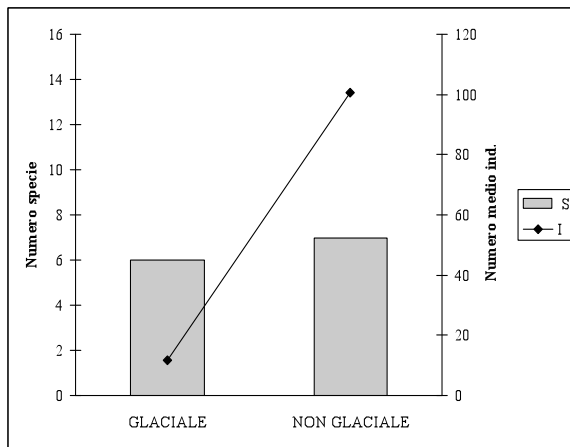


Fig. 42 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) nel CAR

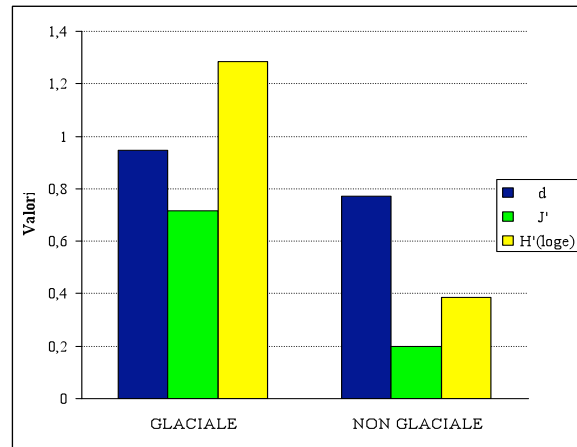


Fig. 43 – Indici di Margalef (d), Pieolu (J') e Shannon (H') nel CAR

Nella figura 44 sono riportati i valori in percentuale delle specie raccolte nelle acque glaciali e non glaciali.

Interessante è la dominanza di *Bryocamptus (A.) alpestris* (56%) e l'assenza di *Bryocamptus (R.) zschokkei* nelle acque glaciali.

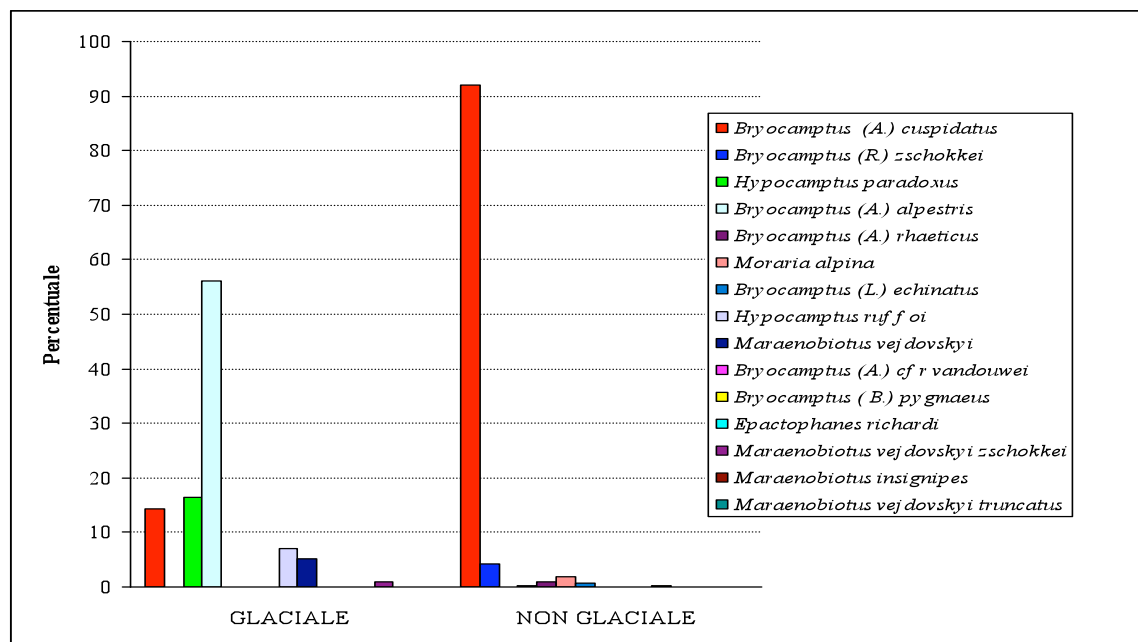


Figura 44 – Percentuale delle specie presenti nelle diverse tipologie fluviali nel CAR

Nel Carè Alto, a differenza degli altri due sistemi, il numero maggiore di specie (7) ed il numero maggiore di individui (52) sono stati individuati per le acque glaciali (16 campionamenti effettuati) (Figura 45). Il valore più alto di diversità è quello riferito alle acque non glaciali ($H' = 1,3$); presentano anche il valore più alto di equiripartizione ($J' = 0,7$) (Figura 46).

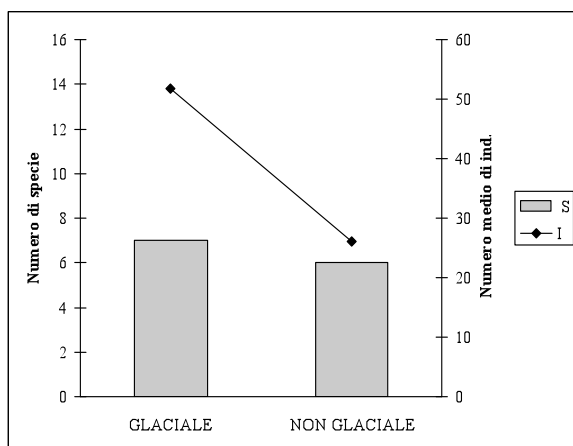


Fig. 45 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) nel CA

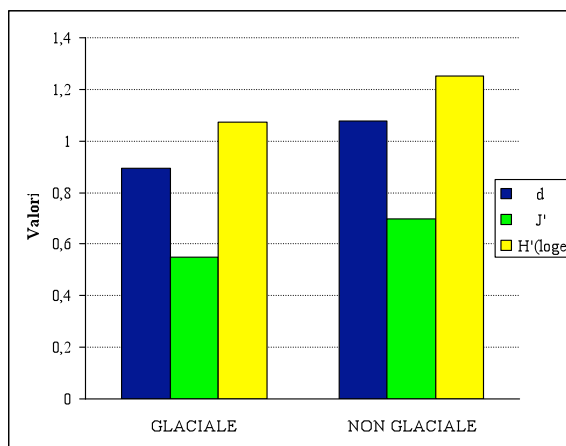


Fig. 46 – Indici di Margalef (d), Pieolu (J') e Shannon (H') nel CA

La distribuzione delle specie raccolte presenta delle differenze con quanto riscontrato negli altri due sistemi (Figura 47). Nel Carè Alto non sono stati campionati esemplari di *Hypocamptus paradoxus*; nelle acque glaciali, *Bryocamptus (R.) zschokkei* è la specie più abbondante (64%) seguita da *Bryocamptus (A.) cuspidatus* (21%). Nelle acque non glaciali più numeroso è risultato *Bryocamptus (A.) cuspidatus* (44%) seguito da *Bryocamptus (A.) alpestris* (35%). In queste acque inoltre si è raccolto un discreto numero di esemplari di *Bryocamptus (A.) cfr vandouwei*, taxon non campionato nelle acque glaciali del Careser e campionato in Val de La Mare con una percentuale molto bassa (0,1%).

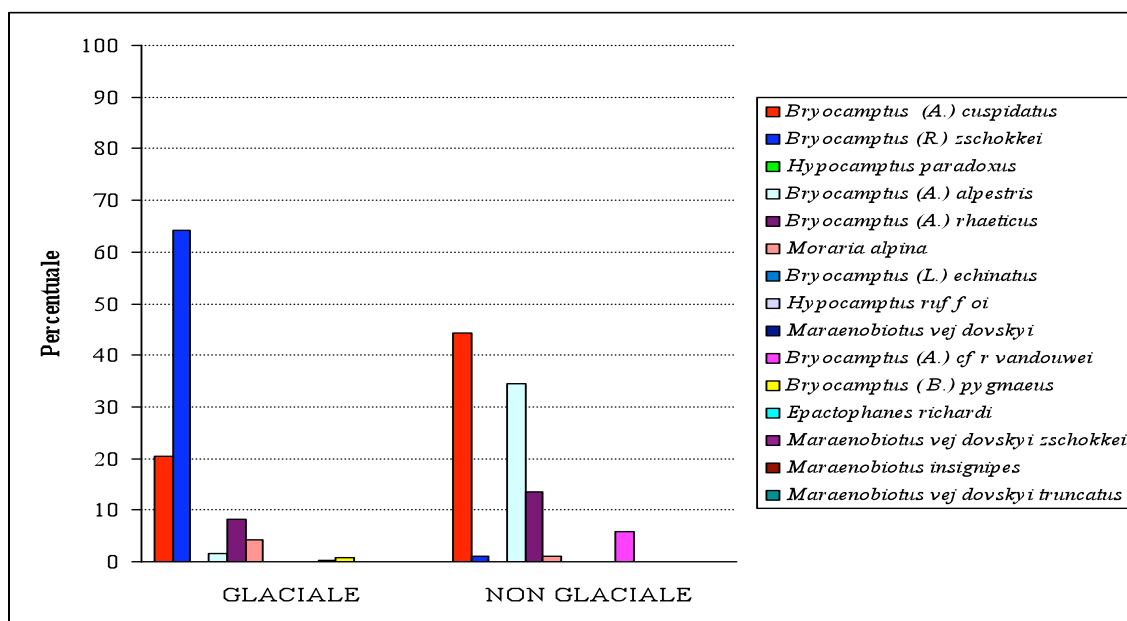


Figura 47 – Percentuale delle specie presenti nelle diverse tipologie fluviali nel CA

Varianza	F	P
N.specie-quota	0,610947	0,43516
Abbondanza-quota	4,022543	0,045957
N. specie-tipologia	21,86842	0,000005
Abbondanza-tipologia	16,55814	0,000063
N. specie-tecnica	2,701992	0,021265
Abbondanza-tecnica	1,192052	0,313535

Tabella 10 – Analisi della varianza in VDM (ANOVA, 1 via di classificazione, F= gradi di libertà, P= significatività statistica, se $P < 0,05$ dato significativo)

6.3) Composizione della taxocenosi in ambiente bentonico ed iporreico

Nel sistema di Val de La Mare abbiamo potuto studiare la composizione taxocenotica in ambiente bentonico ed in ambiente iporreico. Complessivamente sono state utilizzate sei tecniche di raccolta, tre in ambiente superficiale (drift, kick sampling e tubi superficiali) e tre in ambiente iporreico (bottiglie iporreiche, tubi iporreici e pompa Bou-Rouch). Tra i metodi utilizzati in ambiente bentonico (Figura 48), il drift (107 campionamenti) ha permesso di campionare un numero maggiore di specie (12) per una media di 37 individui per campione; il kick (90 campionamenti) ha permesso la raccolta di 11 specie con un numero medio di 56 individui. Con i tubi superficiali (14 campionamenti) si sono raccolte solamente 6 specie per una media di 49 individui.

Con il drift quindi, è stata raccolta una specie in più rispetto al kick, ma con quest'ultima tecnica il numero di esemplari campionati è stato più alto. La tecnica del kick sembrerebbe meglio utilizzabile per popolamenti più "rarefatti".

Dal confronto degli indici (Figura 49) è emerso che la diversità assume il valore più alto nel kick ($H' = 1,03$), mentre il drift presenta il valore più alto di ricchezza specifica ($d = 1,33$).

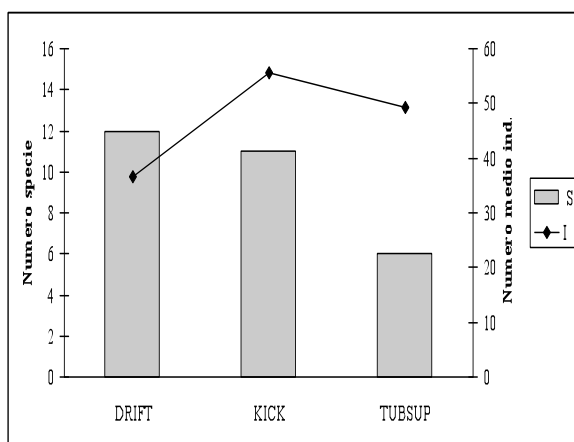


Fig. 48 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) in VDM

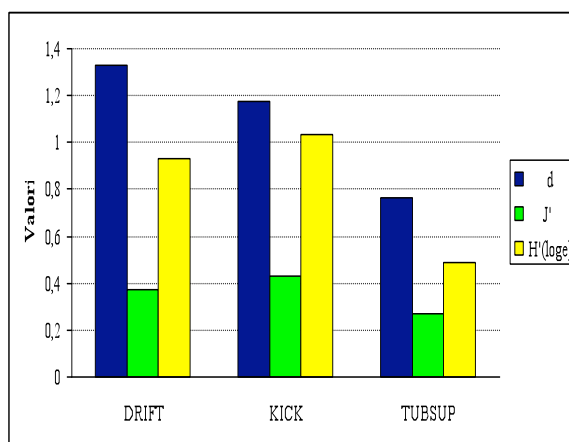


Fig. 49 – Indici di Margalef (d), Pieolu (J') e Shannon (H') in VDM

Bryocamptus (A.) cuspidatus è il taxon più abbondantemente raccolto con tutte le tecniche, segue *Bryocamptus (R.) zschokkei*; *Hypocamptus paradoxus* invece non è stato raccolto con i tubi superficiali (Figura 50).

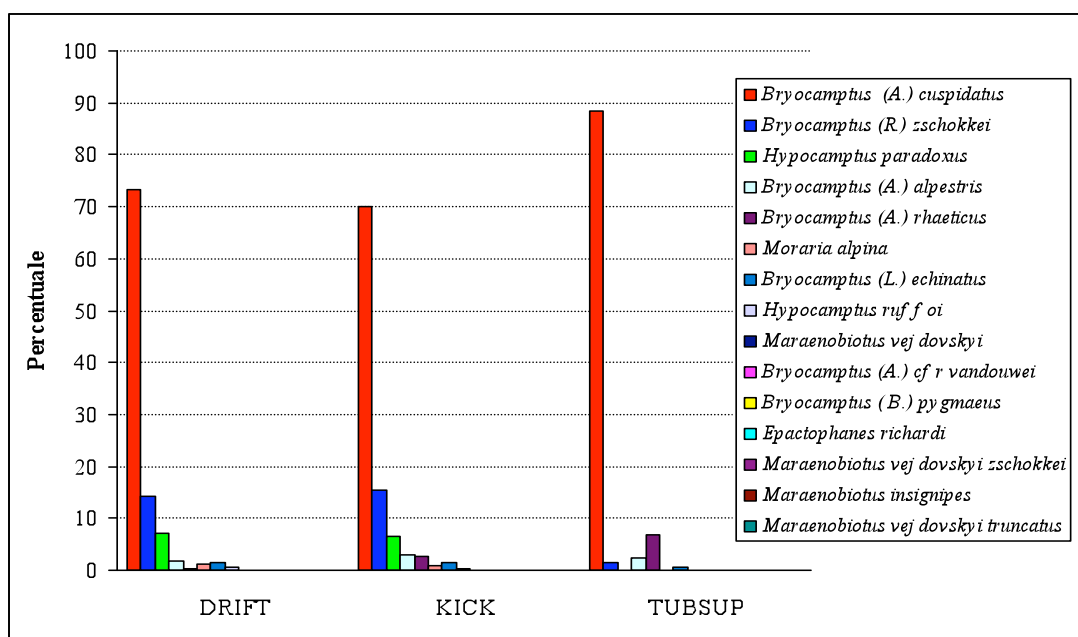


Figura 50 – Percentuale delle specie raccolte con le tecniche utilizzate in ambiente bentonico

Le bottiglie (23 campionamenti) hanno dato i migliori risultati in ambiente iporreico (Figura 51). Questa tecnica infatti è quella che ha comportato il rinvenimento del maggior numero di specie (7) con il maggior numero medio di individui (18). Le bottiglie iporreiche infatti funzionano come “microhabitat di rifugio” (Raschioni, 2002) e concentrano gli Arpacticoidi che vi trovano condizioni maggiormente protette contro lo spostamento dei sedimenti e le variazioni di portata e di intensità di corrente.

I valori più alti della diversità (Figura 52) sono quelli riferiti ai campionamenti con la pompa Bou-Rouch ($H' = 0,76$): con questo metodo sono state raccolte 6 specie per un numero medio di 7 individui.

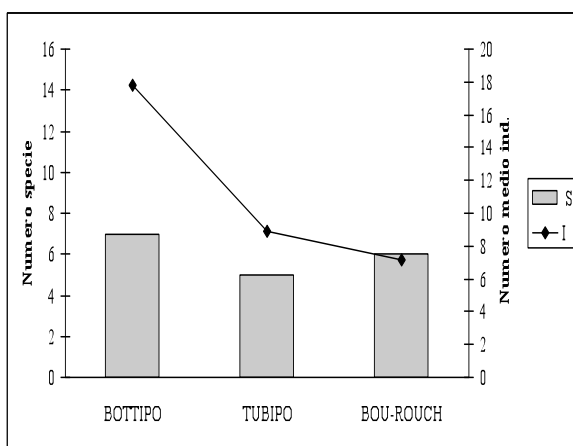


Fig. 51 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) in VDM

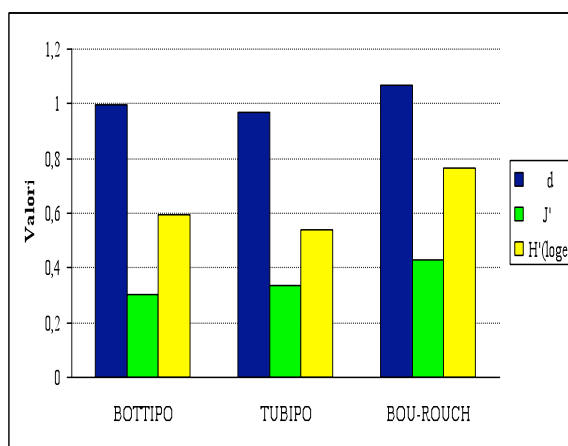


Fig. 52 – Indici di Margalef (d), Pielou (J') e Shannon (H') in VDM

Andando ad analizzare in dettaglio la struttura della comunità nell'ambiente iporreico, si è constatato che alle alte quote come quelle da me indagate, questo ecotono è caratterizzato da un numero molto basso di specie (8) ed un altrettanto basso numero di individui (579).

Per tutte le stazioni di campionamento nessuno dei taxa presenti è esclusivo di acque sotterranee; gli organismi stigobi mancavano del tutto sono state identificate soltanto specie stigossene e stigofile (Tabella 11).

Sottolineiamo che anche nell'ambiente iporreico (come in quello superficiale), la specie dominante è risultata *Bryocamptus (A.) cuspidatus* presente con una percentuale dell'85% seguita da *Bryocamptus (R.) zschokkei* (6%) e da *Bryocamptus (A.) rhaeticus* (5%). Né con i tubi iporreici né con la pompa Bou-Rouch sono stati raccolti esemplari di *Hypocamptus paradoxus* (Figura 53).

Specie	Ecologia	Percentuale
<i>Moraria alpina</i>	sf	1,2
<i>Bryocamptus (R.) zschokkei</i>	ss	6
<i>Bryocamptus (A.) cuspidatus</i>	ss	85
<i>Bryocamptus (A.) rhaeticus</i>	ss	5
<i>Bryocamptus (A.) cfr vandouwei</i>	ss	0,2
<i>Bryocamptus (A.) alpestris</i>	sf	2
<i>Bryocamptus (L.) echinatus</i>	sf	2
<i>Hypocamptus paradoxus</i>	sf?	0,3

Tabella 11 – Elenco delle specie raccolte nell'iporreico (ss: stigossena; sf: stigofila)

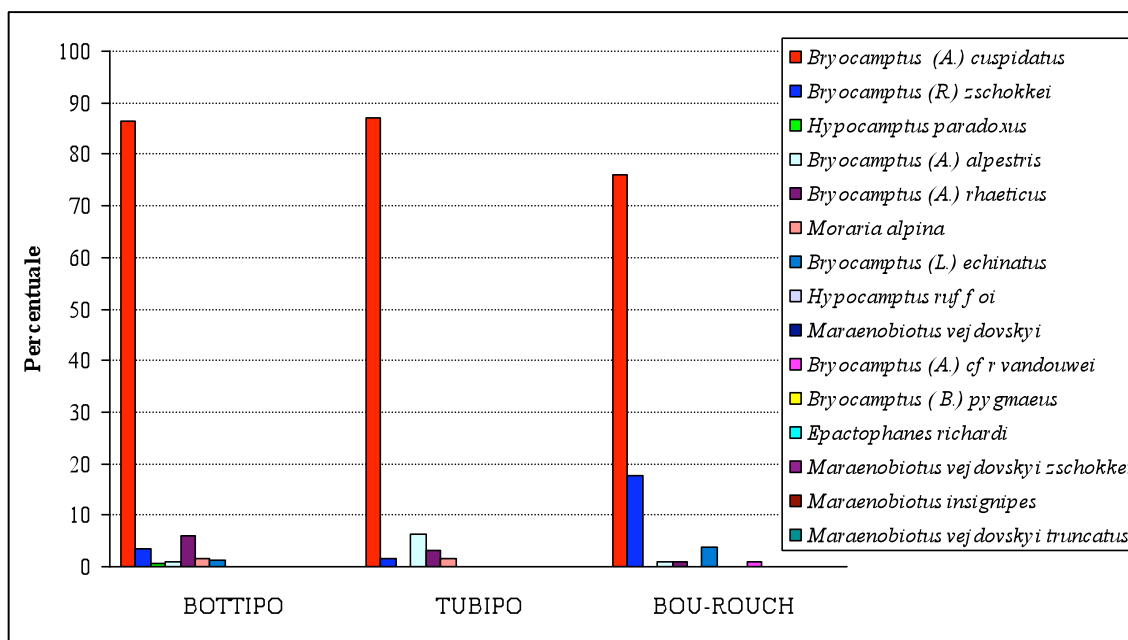


Figura 53 – Percentuale delle specie raccolte con le tecniche utilizzate in ambiente iporreico

6.4) Composizione della taxocenosi nelle diverse stagioni

Il nostro studio prolungato nel tempo, ha permesso di studiare anche la distribuzione di questi organismi durante tutte le stagioni dell'anno, colmando così il vuoto di informazioni presenti in letteratura, un vuoto dovuto sia all'esistenza di studi limitati nel tempo sia alle difficoltà di campionamento in ambienti d'alta quota di difficile o, a volte, impossibile accesso durante la stagione invernale.

La figura 54 rappresenta il numero di specie e il numero medio di individui raccolti per ogni singola stagione. Il numero più alto di specie (13) e il numero maggiore di individui (54) sono stati osservati in autunno, periodo in cui sono stati effettuati 89 campionamenti. In inverno abbiamo potuto eseguire soltanto 34 campionamenti; per questa stagione sono state identificate 7 specie per un numero medio di 24 individui. In base al confronto degli indici (Figura 55) l'estate presenta il più alto valore di diversità ($H' = 1,02$) mentre l'autunno presenta il più alto valore di ricchezza specifica ($d = 1,42$).

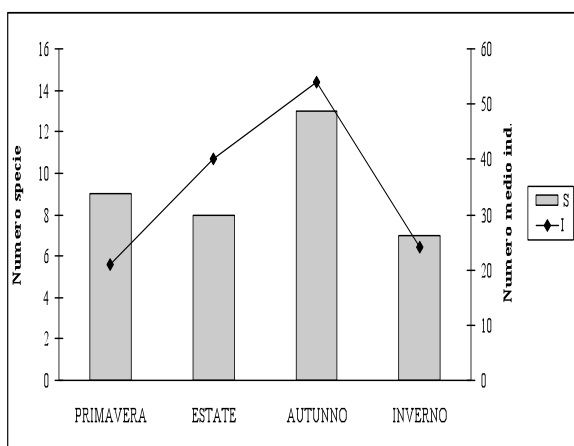


Fig. 54 – Numero di specie (S) e numero medio individui (I) in VDM

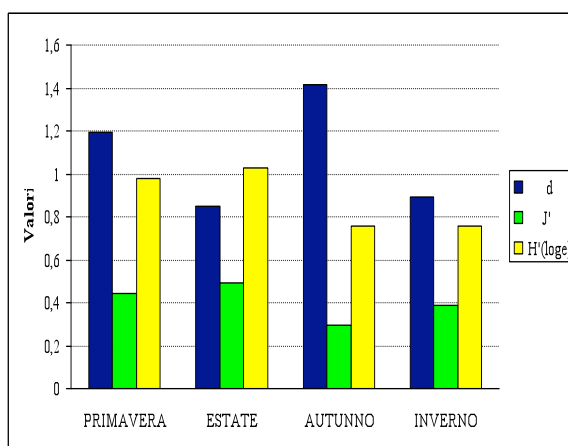


Fig. 55 – Indici di Margalef (d), Pieolu (J') e Shannon (H') in VDM

Dall'analisi di questi dati è emerso che anche nei mesi invernali quando i corsi d'acqua sono completamente coperti da uno strato di ghiaccio e neve, nell'acqua sottostante sono presenti specie che si sono adattate a vivere in condizioni ambientali fortemente limitanti. La cluster analysis (Figura 56) mostra la presenza di due distinti gruppi di comunità taxocenotiche, uno in primavera ed inverno e l'altro in autunno ed estate.

Nella figura 57 è rappresentata la distribuzione percentuale delle diverse specie nei diversi periodi e nella tabella 12 è riportato l'elenco delle 7 specie presenti in inverno con le percentuali relative. Dal grafico si può vedere come in tutte le stagioni, ad eccezione della primavera in cui la specie più abbondante è risultata *Bryocamptus (R.) zschokkei*, la specie dominante sia sempre *Bryocamptus (A.) cuspidatus*, che in inverno è presente con una percentuale del 76% seguita da *Bryocamptus (R.) zschokkei* (18%) e *Bryocamptus (A.) rhaeticus* (2,3%). Le specie più abbondanti inoltre presentano periodi riproduttivi diversi, *Bryocamptus (R.) zschokkei* si riproduce in primavera, stagione in cui è la specie dominante e presente con una percentuale del 54%, *Hypocamptus paradoxus* si riproduce invece in estate, periodo in cui la sua presenza è massima e pari ad una percentuale del 14% mentre *Bryocamptus (A.) cuspidatus* si riproduce in autunno.

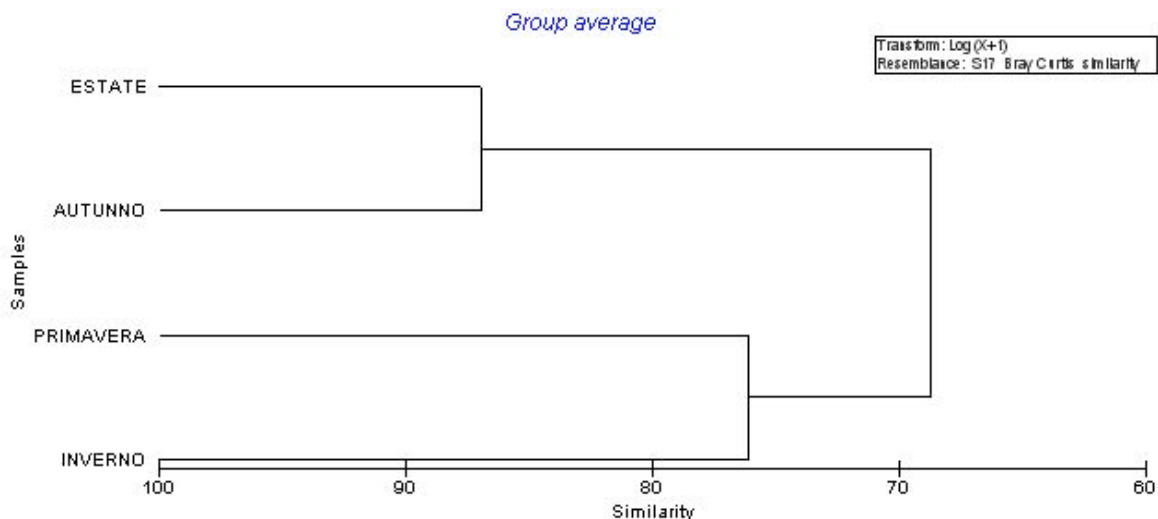


Figura 56 – Dendrogramma (Cluster analys) realizzato in base alla comunità di Arpacticoidi nelle stagioni

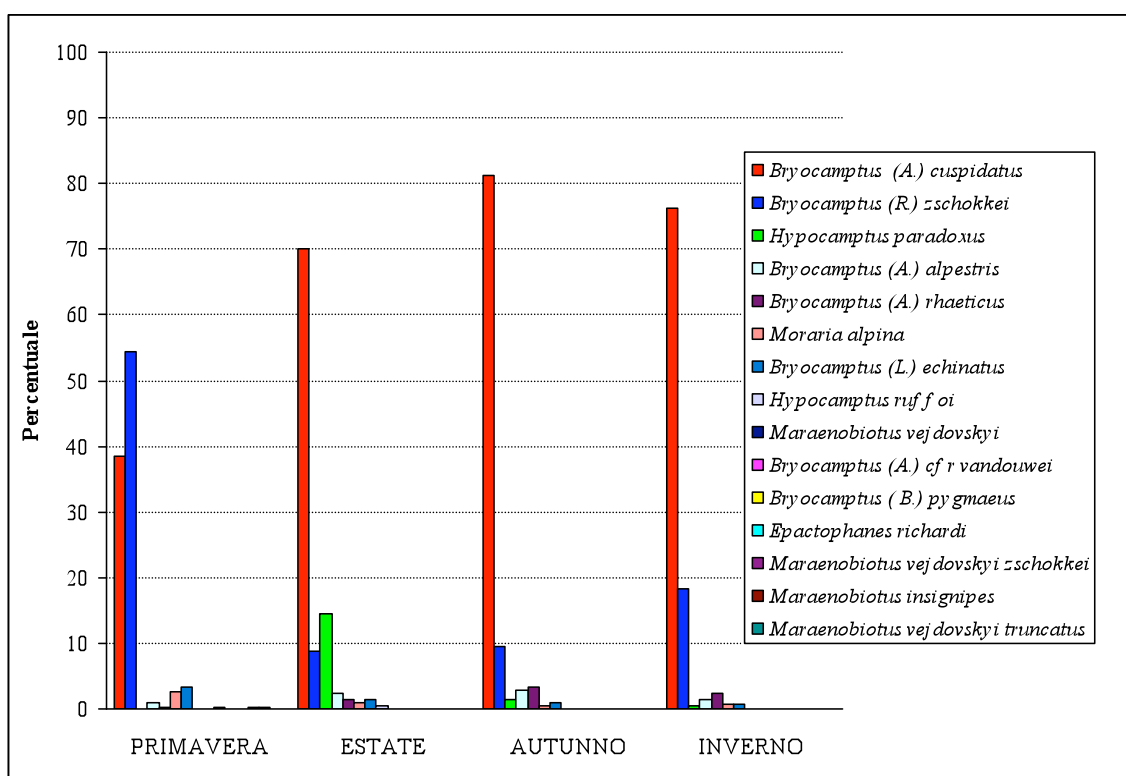


Figura 57 - Distribuzione percentuale delle specie rinvenute nelle singole stagioni

6.5) Taxa maggiormente significativi

L'analisi dei dati raccolti ha permesso di definire la composizione della taxocenosi delle aree d'indagine sia in termini di specie che di categorie ecologiche (Tabella 12); la specie più abbondante è risultata *Bryocamptus Arcticocamptus cuspidatus* (72%); seguono

Bryocamptus Rheocamptus zschokkei (15%), *Hypocamptus paradoxus* (5%), *Bryocamptus Articocamptus alpestris* (3%), *Bryocamptus Articocamptus rhaeticus* (2,4%) e *Moraria alpina* (1,2%). Le specie *Maraenobiotus insignipes*, *Maraenobiotus vej dovskyi truncatus*, *Maraenobiotus vej dovskyi zschokkei*, *Epactophanes richardi*, *Maraenobiotus vej dovskyi*, *Bryocamptus (B.) pygmaeus* e *Bryocamptus (A.) cfr vandouwei* sono state rinvenute sporadicamente e con pochissimi esemplari.

Specie	Ecologia	Percentuale
<i>Maraenobiotus insignipes</i> (Lillijeberg, 1902)	ss	0,01
<i>Maraenobiotus vej dovskyi</i> (Mrázek, 1893)	sf	0,1
<i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i> (Gurney, 1932)	sf	0,01
<i>Maraenobiotus vej dovskyi zschokkei</i> (Kreis, 1920)	sf	0,02
<i>Epactophanes richardi</i> (Mrázek, 1893)	sf	0,02
<i>Moraria alpina</i> (Stoch, 1998)	sf	1,2
<i>Bryocamptus (B.) pygmaeus</i> (G.O. Sars, 1863)	ss	0,1
<i>Bryocamptus (R.) zschokkei</i> (Schmeil, 1893)	ss	15
<i>Bryocamptus (A.) cuspidatus</i> (Schmeil, 1893)	ss	72
<i>Bryocamptus (A.) rhaeticus</i> (Schmeil, 1893)	ss	2,4
<i>Bryocamptus (A.) cfr vandouwei</i> (Kessler, 1914)	ss	0,1
<i>Bryocamptus (A.) alpestris</i> (Vogt, 1845)	ss	3
<i>Bryocamptus (L.) echinatus</i> (Mrázek, 1893)	sf	1,1
<i>Hypocamptus paradoxus</i> (Kreis, 1926)	ss	5
<i>Hypocamptus ruffoi</i>	sf?	0,3

Tabella 12 –Elenco delle specie e percentuale di presenza (ss = stigosseno; sf = stigofilo; sb = stigobionte)

Bryocamptus Arcticocamptus cuspidatus (Schmeil, 1893) che appartiene a un corotipo olartico distribuito nelle regioni paleartica e nearctica, è stato rinvenuto per la prima volta in Italia nel 1927 nelle Alpi Marittime a 1270 m s.l.m (Ruffo and Stoch, 2006); è presente lungo l’arco alpino, sugli Appennini ed in Sardegna a quote che vanno da 1080 m a 2520 m s.l.m. (Figura 58).

Nella nostra indagine è stato raccolto in tutti e tre i sistemi, e risulta la specie con i valori più elevati di abbondanza sia nel Careser (2248 individui) che in Val de La Mare (7473) mentre nel Carè Alto è la seconda specie più abbondante (216 individui) dopo *Bryocamptus Rheocamptus zschokkei*.

Questa specie è stata campionata a tutte le quote; l’abbiamo segnalata a 2694 m s.l.m sul torrente Rio Careser ed in Val de La Mare; a 2650 m s.l.m. sul torrente Noce Bianco ed a

2525 m s.l.m. sul Rio Larcher. Questi sono dati inediti che integrano quelli della letteratura.

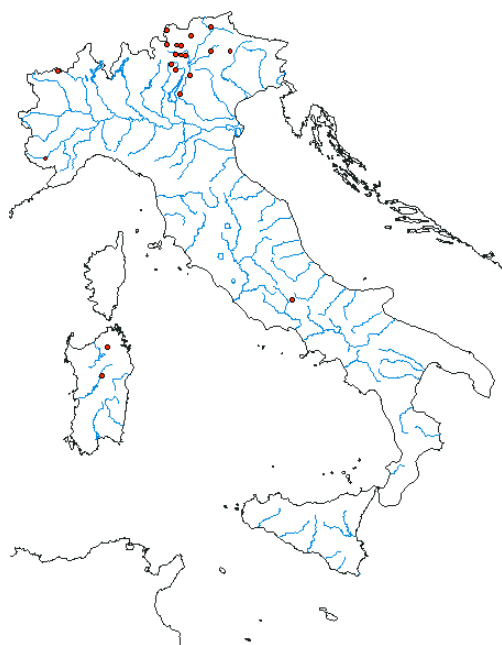


Figura 58 - Distribuzione di *Bryocamptus Arcticocamptus cuspidatus* (da Ruffo and Stoch, 2006)

Il secondo taxon più abbondante è *Bryocamptus Rheocamptus zschokkei* (Schmeil, 1893) (2011 individui) che appartiene a un corotipo olartico. Il taxon è stato rinvenuto per la prima volta in Italia nel 1960 in una sorgente nel Parco Nazionale delle Dolomiti Bellunesi ad una quota di 1200 m s.l.m. (Ruffo and Stoch, 2006). La specie è presente nel settore alpino, appenninico, in Sicilia e nell'isola di Monte Cristo a quote che variano da 305 a 2295 m s.l.m. (Figura 59).

Noi abbiamo rinvenuto questa specie prevalentemente a quote al di sotto dei 2000 m s.l.m., ma è stata raccolta anche a 2400 e 2500 m s.l.m. nel torrente Conca nel Carè Alto, a 2455 m s.l.m. sul torrente Noce Bianco ed a 2694 m s.l.m. sul Rio Careser. Si trova prevalentemente nelle acque non glaciali ma nel Carè Alto domina anche nelle acque glaciali ed è stata raccolta con tutte le tecniche utilizzate. In ambiente bentonico il kick si è dimostrata la tecnica più efficace mentre in ambiente iporreico, la pompa Bou-Rouch ha permesso i migliori campionamenti. Molti individui sono stati campionati anche nei periodi invernali ma la massima presenza è stata riscontrata in primavera.

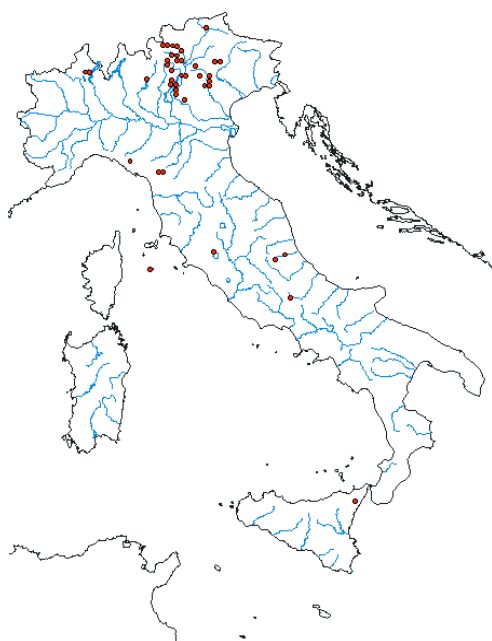


Figura 59 - Distribuzione di *Bryocamptus rheocamptus zschokkei* (Schmeil, 1893)
(da Ruffo and Stoch, 2006)

Il terzo taxon più abbondante è *Hypocamptus paradoxus* (Kreis, 1986) (640 individui); questo appartiene a un corotipo alpino ed è stato rinvenuto per la prima volta in Italia nel 1994 nel lago alpino periglaciale Lech Dlacè sulla vetta del Piz Boè in provincia di Bolzano, ad una quota di 2833 m s.l.m. (Ruffo and Stoch, 2006). Risulta finora presente esclusivamente nell'arco alpino a quote comprese tra i 2280 ed i 2888 m.s.l.m. (Figura 60).

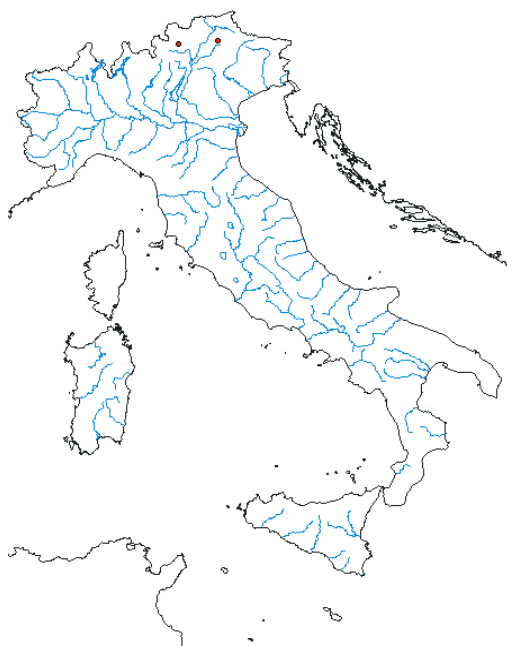


Figura 60 – Distribuzione di *Hypocamptus paradoxus* (Kreis, 1986)
(da Ruffo and Stoch, 2006)

Questa specie è presente soltanto nel sistema del Careser e in Val de La Mare mentre nessun individuo è stato catturato nel Carè Alto. Si campiona prevalentemente a quote comprese tra i 2000 e i 2700 m s.l.m. anche se diversi organismi sono stati raccolti a 1980 e 1200 m s.l.m. nel torrente Noce Bianco.

Questo taxon domina le acque glaciali, pochissimi individui sono stati raccolti in ambiente iporreico con le bottiglie iporreiche; ed il numero massimo di individui è stato campionato in estate.

Segue *Bryocamptus Articocamptus alpestris* (Vogt, 1845) (406 individui); il taxon appartiene ad un corotipo centroeuropeo ed in Italia è stato catturato per la prima volta nel 1997 in una sorgente nella Val d'Ayas in Valle d'Aosta ad una quota di 2450 m s.l.m. (Ruffo and Stoch, 2006). Questa specie, in Italia, è stata ritrovata nelle Alpi Orientali ed Occidentali a quote superiori ai 2200 m s.l.m. (Ruffo and Stoch, 2006) (Figura 61).

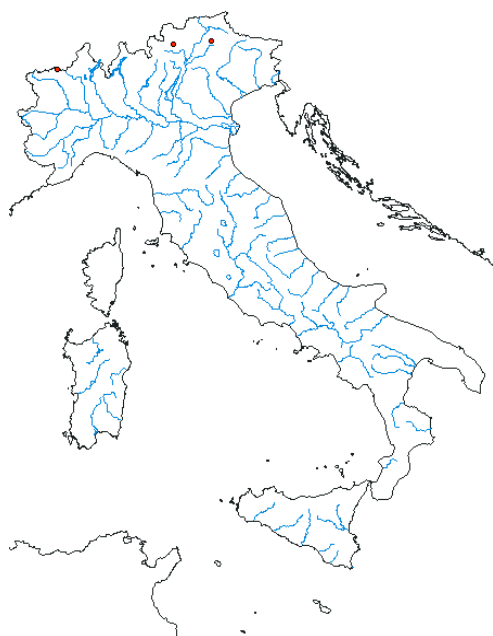


Figura 61 - Distribuzione di *Bryocamptus Articocamptus alpestris* (Vogt, 1845)

Nella nostra indagine è stato raccolto prevalentemente a quote comprese tra i 2000 e 2700 m s.l.m. e diversi individui sono stati campionati a 2257 m s.l.m. nel torrente Noce Bianco, a 2270 e 2703 m s.l.m. nel Rio Larcher ed a 2642 e 2694 m s.l.m. sul Rio Careser.

Sia nel Careser che in Val de La Mare è frequente nelle acque glaciali mentre nel Carè Alto è stato raccolto prevalentemente in acque non glaciali. E' stato campionato sia in ambiente bentonico che in ambiente iporreico e le tecniche che hanno permesso di raccogliere il maggior numero di individui sono state rispettivamente il kick sampling ed i tubi iporreici.

7) DISCUSSIONE

7.1) Analisi dei parametri di comunità e confronti tra sistemi

Dall'analisi dei parametri della comunità è emerso che nei diversi sistemi esiste una diversa composizione della comunità taxocenotica legata sia ad un diverso sforzo di campionamento che ad una diversa localizzazione territoriale delle aree indagate; i sistemi di Val de La Mare e del Careser presentano una comunità simile e si trovano entrambi nel bacino dell'Adige mentre nel Carè Alto la comunità dei Copepodi Arpacticoidi è diversa e questo sistema si trova all'interno del bacino del Po. Questa diversa localizzazione potrebbe spiegare la dominanza di *Bryocamptus (A.) cuspidatus* in Val de La Mare e nel Careser e la dominanza di *Bryocamptus (R.) zschokkei* e l'assenza di individui appartenenti alla specie *Hypocamptus paradoxus* nel Carè Alto. Queste aree inoltre sono state fortemente interessate dalle glaciazioni quaternarie, le Alpi infatti, durante l'ultima glaciazione (Corrà, 1968; www.archeologia.com), detta del Wurm, che iniziò 75 000 anni fa e conobbe il suo acme intorno a 20 000 anni fa, erano coperte sul versante settentrionale da un'unica calotta di ghiaccio che si estendeva fino al Rodano, mentre sul versante meridionale le lunghissime lingue dei ghiacciai arrivavano fino alla pianura, scavando gli alvei degli odierni laghi glaciali (Maggiore, d' Iseo, di Como, di Garda). In questo contesto i sistemi studiati sono rimasti separati per lungo tempo e ciò ha impedito gli scambi tra le popolazioni determinando una diversa struttura delle comunità.

Dall'analisi degli indici di diversità è emerso inoltre che il sistema del Carè Alto presenta il più alto valore di diversità biologica; le poche specie raccolte sono ben equiripartite e non si verifica, come negli altri due sistemi, la presenza di specie rare o sporadiche che incrementano il numero di specie raccolte ma non il valore della diversità dell'area indagata.

7.2) Composizione delle taxocenosi in ambiente bentonico ed iporreico

Dai risultati ottenuti è emerso che gli ambienti iporreici di alta quota da me indagati sono caratterizzati da un numero molto basso di specie e di individui. Nessuna delle specie presenti è esclusiva di acque sotterranee; sono state infatti identificate solo specie stigossene e stigofile e le stigobie mancano del tutto. L'assenza di stigobi in questi ambienti è presumibilmente da imputarsi all'effetto depauperante delle glaciazioni quaternarie (vedi paragrafo 7.1). La successiva ricolonizzazione di questi ambienti nel post glaciale da parte delle specie stigobie non è stata inoltre possibile vista la loro limitata

capacità di dispersione e le difficoltà di adattamento ad acque sotterranee poco profonde come quelle iporreiche degli ambienti indagati, troppo soggette a frequenti e brusche escursioni termiche (Crema *et al.*, 1996). In studi effettuati invece in grotte e sorgenti delle Prealpi Giulie, Venete e Lombarde (Stoch, 2002, 2003, 2004; Stoch *et al.* 2002; Colla *et al.* 2002; Mezzanotte *et al.*, 2004; Fiasca *et al.* 2004), nei cosiddetti “massicci di rifugio” risparmiati dalle glaciazioni quaternarie e meglio collegati a falde freatiche profonde, si è riscontrata una maggiore diversità del popolamento a Copepodi e la presenza di specie stigobie. Nelle acque carsiche sotterranee delle Alpi Carniche (Stoch, 2004), ed in altre aree prealpine come i Monti Musi (Colla *et al.*, 2000), le Valli del Torre (Stoch, 1993) e le Valli del Natisone (Stoch, 1997) sono state segnalate molte specie stigobie di notevole significato ecologico e biogeografico (generi *Parastenocaris*, *Lessinocamptus*, *Paramorariopsis*, *Diacyclops* e *Speocyclops*) con percentuali variabili dal 60% (Alpi Carniche) al 72% (Valli del Natisone).

La presenza di specie stigobie caratterizza anche gli ambienti acquatici appenninici sia di sorgente che di superficie (Pesce, 1996) e degli studi effettuati sul sistema sorgivo di Presciano nel Parco Nazionale del Gran Sasso-Monti della Laga (Fiasca *et al.*, 2004) hanno evidenziato come questo sistema ecotonale sia caratterizzato da un’elevata diversità copepodologica. La componente sotterranea è più rappresentativa di quella superficiale ed è caratterizzata dalla presenza di specie rare ed endemiche come *Nitocrella pescei* (Galassi & De Laurentiis 1997b) ed *Elaphoidella mabelae* (Galassi & Pesce, 1991). Questa ricchezza di specie è dovuta al fatto che gli Appennini, a differenza delle Alpi, sono stati interessati solo marginalmente dalle glaciazioni quaternarie; quest’ultime hanno comportato la formazione di tanti piccoli ghiacciai e non di uno solo di enormi dimensioni come nelle Alpi, consentendo così una maggiore diversità dei popolamenti.

7.3) Composizione delle taxocenosi nelle diverse stagioni

Lo studio prolungato nel tempo, caratteristica particolare di questo lavoro di tesi, ha permesso di studiare la distribuzione dei Copepodi Arpacticoidi durante tutte le stagioni dell’anno in ambienti d’alta quota, colmando così il vuoto di informazioni presenti in letteratura, un vuoto dovuto sia all’esistenza di studi limitati nel tempo sia alle difficoltà di campionamento in questi ambienti che per motivi climatici appaiono di difficile o, a volte, impossibile accesso durante la stagione invernale.

Con l’analisi dei dati abbiamo potuto caratterizzare (nel sistema di Val de La Mare) due diversi tipi di popolamento, uno invernale-primaverile e l’altro estivo-autunnale. Per la

maggior parte del tempo la specie dominante in tutte le stagioni è risultata *Bryocamptus (A.) cuspidatus*. Soltanto in primavera questo taxon viene sostituito da *Bryocamptus (R.) zschokkei*.

Analizzando la distribuzione delle specie raccolte nei diversi periodi abbiamo osservato che i diversi taxa presentano un differente periodo riproduttivo, *Bryocamptus (R.) zschokkei*, le cui femmine depongono almeno quaranta uova alla volta, si riproduce prevalentemente in primavera; in questa stagione infatti si osserva un picco di individui appartenenti a questo taxon. Questa specie inoltre popola prevalentemente i corsi d'acqua non glaciali compresi tra i 1200 e 1999 m s.l.m. e quindi colonizza acque che in primavera sono caratterizzate da condizioni chimico-fisiche più stabili rispetto alle acque glaciali.

Bryocamptus (A.) cuspidatus si riproduce per periodi più lunghi, il picco riproduttivo si verifica in autunno e le femmine inoltre possono deporre solo due uova alla volta.

Abbiamo potuto ottenere dati del tutto inediti anche per quanto riguarda la biologia riproduttiva di *Hypocamptus paradoxus*. Questo ha una strategia riproduttiva ancora diversa rispetto alle due specie prima discusse. I nostri dati indicano che l'estate è il periodo riproduttivo d'elezione per questo taxon; ciò è dovuto al fatto che *H. paradoxus* preferisce specialmente le acque di origine glaciale; in queste le condizioni ottimali per l'attività riproduttiva (aumento dei valori di T° dell'acqua) si verificano in ritardo rispetto alle altre tipologie fluviali considerate.

Altri dati interessanti ed inediti sono anche legati ai campionamenti effettuati nei mesi invernali quando i corsi d'acqua sono completamente coperti da uno strato di ghiaccio e neve. Si è osservato che nelle acque libere sotto lo strato ghiacciato sono presenti specie che evidentemente hanno evoluto una serie di adattamenti utili per la sopravvivenza in condizioni ambientali fortemente limitanti. Abbiamo individuato ben sette specie che erano presenti con individui adulti durante l'inverno; fra queste la specie dominante è risultata ancora una volta *Bryocamptus (A.) cuspidatus*.

7.4) Taxa maggiormente significativi

In seguito al lavoro svolto in laboratorio unito all'analisi dei dati, si può ribadire che la specie che prevale in tutti gli ambienti indagati in questa tesi è *Bryocamptus (A.) cuspidatus*. Questo, sulla base dei miei dati ed in accordo con Husmann (1975) e Galassi (1997a), può essere considerato un elemento boreo-alpino, ampiamente diffuso in Europa, Groenlandia ed in America del Nord (Dussart & Defaye, 1990). Il taxon presenta un'ampia valenza ecologica, riesce a colonizzare, come dimostrato, habitat caratterizzati da

condizioni ambientali “limite” come appunto i corsi d’acqua ad alimentazione glaciale e riesce a colonizzare ambienti presenti in un ampio range di distribuzione altitudinale. Per le quote più alte ricordo quindi che *B. (A.) cuspidatus* è stato (presente ricerca) segnalato a 2694 m s.l.m. sul torrente Rio Careser. In Val de La Mare si trova a 2650 m s.l.m. sul Noce Bianco ed a 2525 m s.l.m. sul Rio Larcher. Anche questi sono dati inediti che completano le conoscenze presenti in letteratura (Ruffo & Stoch, 2006). *Bryocamptus (A.) cuspidatus* inoltre domina, come già ricordato, gli ambienti indagati anche nel periodo invernale; proprio per questa sua elevata capacità di adattamento e sopravvivenza si può definire una specie a strategia K.

Altri aspetti differenti correlati con questa elevata plasticità ecologica e biologica sono stati osservati e confermati anche con una serie di esperimenti condotti in laboratorio su del materiale vegetale raccolto in un ruscello denominato di “Santa Maria della Neve” (vedi Appendice). Questo piccolo corso d’acqua si trova in Sardegna presso la vetta del monte Limbara, ad una quota di 1300 m s.l.m. e si prosciuga completamente nei mesi estivi. Questi esperimenti hanno dimostrato che questa specie, per la quale era noto che fosse in grado di produrre uova resistenti alle basse temperature invernali come già segnalato da Dussart (1967), può ugualmente produrre cisti di resistenza in grado di superare la siccità estiva che caratterizza il ruscello del monte Limbara. La presenza di queste cisti, fino ad ora solo ipotizzata, è stata confermata da queste ricerche che, in conclusione, ampliano e rafforzano l’assunto iniziale dell’ampia valenza ecologica di *B. (A.) cuspidatus* utile per rispondere positivamente alle più diverse situazioni ambientali.

Un’ altra specie molto interessante, che presenta però un’ecologia opposta in confronto a *Bryocamptus (A.) cuspidatus* è *Hypocamptus paradoxus*. Questo taxon domina le acque glaciali; è risultato cioè, un elemento frigostenotermo, abbondante sia nei campioni di Val de La Mare che del Careser ma assente nel Carè Alto. La specie è estremamente rara in tutto l’arco alpino europeo (Cottarelli *et al.*, 2002) e a differenza di *Bryocamptus (A.) cuspidatus*, è un Arpacticoide estremamente specializzato per vivere, in pratica, soltanto nel suo particolare habitat; grazie anche alle nostre osservazioni può essere sicuramente considerato come una specie a strategia r.

Queste due specie, comunque, pur essendo ecologicamente e biologicamente molto diverse fra loro, presentano una forma di convergenza per quanto riguarda il numero di uova portato dalle femmine ovigere: anche *Hypocamptus paradoxus*, infatti, matura solamente due uova alla volta (dato finora inedito).

Bryocamptus (A.) alpestris è un’altra notevole specie che abbiamo rinvenuta in acque glaciali anche nel periodo invernale. Questo taxon è un altro raro elemento

frigostenotermo, che era noto in Italia limitatamente alle province di Bolzano ed Aosta e sul torrente Noce Bianco (Cottarelli *et al.*, 2002). Con le nuove ricerche svolte per questa tesi è stato possibile segnalare nuove stazioni di alta quota, Rio Careser a 2694 m s.l.m. e torrente Conca a 2500 m s.l.m. La biologia di questo taxon è praticamente sconosciuta e saranno necessarie sicuramente ulteriori ricerche in proposito. Anche per questa specie, intanto, abbiamo potuto documentare la sopravvivenza di individui adulti sotto lo strato ghiacciato dei torrenti e stabilire che la “strategia” di produrre poche uova (due) durante periodi di tempo abbastanza lunghi si è evoluta pure per *B. (A.) alpestris*.

8) CONCLUSIONI

Al termine del presente lavoro sperimentale è stato possibile trarre le conclusioni espresse sinteticamente qui di seguito:

1. Esiste una differente distribuzione dei popolamenti di Copepodi Arpacticoidi passando da sistemi fortemente interessati dal fenomeno delle glaciazioni a sistemi interessati solo marginalmente. I primi, come quelli da me studiati, sono caratterizzati da un ridotto numero di specie e d'individui ed in ambiente iporreico dall'assenza di specie stigobie, caratteristiche delle acque sotterranee, che invece sono presenti in sorgenti e grotte delle Prealpi e degli Appennini come dimostrato da numerosi contributi reperibili in letteratura.
2. Esiste una differente distribuzione dei Copepodi Arpacticoidi in relazione alle diverse fasce altitudinali ed alle diverse tipologie fluviali indagate. A quote comprese tra i 2000 e 2700 m s.l.m. si verifica la dominanza della specie *Bryocamptus (A.) cuspidatus* mentre a quote inferiori comprese tra i 1200-1999 m s.l.m., è dominante *Bryocamptus (R.) zschokkei*. Nel particolare habitat delle acque glaciali si afferma *Hypocamptus paradoxus*.
3. Le specie più interessanti rinvenute negli ambienti da me indagati sono state *Bryocamptus (A.) cuspidatus*, *Hypocamptus paradoxus* e *Bryocamptus (A.) alpestris*.
Bryocamptus (A.) cuspidatus, elemento boreo-alpino, è la specie che caratterizza molti degli ambienti studiati: presenta un'ampia valenza ecologica, riesce a colonizzare, come dimostrato, habitat caratterizzati da condizioni ambientali "limite" ed è presente in un ampio range di distribuzione altitudinale.
Hypocamptus paradoxus, elemento frigostenotermo, domina le acque glaciali ed è un Arpacticotide estremamente specializzato per vivere nel suo habitat come si verifica anche per *Bryocamptus (A.) alpestris*. Queste specie, pur essendo ecologicamente e biologicamente molto diverse tra loro, presentano una forma di convergenza per quanto riguarda il numero di uova portato dalle femmine ovigere: in tutte le tre le specie, queste maturano solamente due uova alla volta come risposta adattativa alle difficoltà, appunto, ambientali.
4. La comunità dei Copepodi Arpacticoidi è presente ed attiva con esemplari adulti anche nei mesi invernali, quando i corsi d'acqua sono completamente coperti da uno strato di ghiaccio e neve. Questa osservazione rappresenta un dato del tutto

inedito per una migliore conoscenza dell'autoecologia di molte fra le specie studiate.

Sotto l'aspetto faunistico, inoltre, con questa ricerca si è tentato di offrire un primo contributo sufficientemente ampio ed articolato all'approfondimento delle conoscenze sull'identificazione e la distribuzione dei diversi taxa componenti le differenti comunità dei Copepodi Arpacticoidi nelle acque bentoniche ed iporreiche di ambienti d'alta quota del settore alpino.

Con questo lavoro di tesi, in conclusione, è stato possibile raccogliere informazioni, finora inesistenti, sulla presenza e le modalità di distribuzione dei diversi taxa durante tutte le stagioni dell'anno; in questo modo è stato possibile colmare il "vuoto di notizie" al riguardo. Gli studi reperibili in letteratura riguardano, infatti, ricerche svolte per brevi periodi e solamente nelle stagioni favorevoli.

Quanto detto si giustifica con le difficoltà di campionamento in ambienti d'alta quota; sicuramente questi ambienti per motivi climatici possono apparire, o realmente essere di difficile o impossibile accesso durante la stagione invernale: a me sembra che questi primi risultati ottenuti facciano emergere chiaramente l'esigenza di proseguire le ricerche in modo ancora più dettagliato e continuativo.

9) BIBLIOGRAFIA

- Anderson R.S., 1971 - Crustacean plankton of 146 alpine and subalpine lakes and ponds in western Canada. *J. Fish. Res. Bd Can.* 28: 311-321.
- Anderson R.S., 1974 - Crustacean plankton communities of 340 lakes and ponds in and near the National Parks of the Canadian Rocky Mountains. *J. Fish. Res. Bd Can.* 31: 855-869.
- Baroni C., Carton A., 1987 - Geomorfologia della Valle dell'Avio (Gruppo Adamello). *Natura Bresciana, Ann. Mus. Civ. Sc. Nat., Brescia*, 23: 3-48.
- Bernasconi S., 2005 - Comunità zoobentoniche in torrenti d'alta quota (Adamello-Presanella, Trentino). Tesi di laurea: 117 pp.
- Bombarda, R., 1994 - I Ghiacciai del Parco Naturale Adamello Brenta. PNAB, Strembo (Trento). 126 pp.
- Boscaini A., Corradini F., Lencioni V., Maiolini B., 2003 – Caratterizzazione morfologica e chimico-fisica di un sistema idrografico alpino (Parco Nazionale dello Stelvio, Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 80: 43-49.
- Boulton A. J., Scarsbrook M.R., Quinn J.M., Burrell G.P., 1997 - Land-use effects on the hyporheic ecology of the small streams near Hamilton, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. Vol. 31: 609-622.
- Brancelj A., 1999 - The extinction of *Arcodiptomus alpinus* (Copepoda) following the introduction of charr into the small alpine lake Dvojno Jezero (NW Slovenia). *Aquat. Ecol.* 33:355-361.
- Boxshall G.A. & Halsey S.H., 2004 - An introduction to Copepod diversity. The Ray Society, London: 966 pp.
- Boxshall G.A., Defaye D., 2008 – Global diversity copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia* 595 (1): 195 pp.
- Brittain J.E. & Milner A.M., 2001- Ecology of glacier-fed rivers: current status and concepts. *Freshwater Biology* 46: 1571-1578.
- Brunke M. & Gonser T., 1997 - The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*, 37: 1-33.
- Burgherr P. & Ward J.V., 2001 - Longitudinal and seasonal distribution patterns of the benthic fauna of an alpine glacial stream (Val Roseg, Switzerland). *Freshwater Biology*, 46 (12): 1705-1722.
- Brodsky K.A., 1980 - Mountain Torrent of the Tien Shan. Dr W. Junk, The Hague, 311 pp.

- Brown L. E., Hannah D. M., and Milner A. M., 2003 - Alpine stream habitat classification: an alternative approach incorporating the role of dynamic water source contributions. *Artic, Antarctic, and Alpine Research* 35: 313-322.
- Colla A., De Mattia W., Dolce S., Stoch F., 2000 – Prime indagini biospeleologiche nella Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko (4737 VG) (Carso triestino, Italia). *Progressione*, 43: 62-67.
- Colla A., Stoch F., 2002 - Prime ricerche biospeleologiche nelle grotte dei Monti Musi (Parco Naturale delle Prealpi Giulie). *Atti Museo Civico di storia Naturale di Trieste*, 49: 93-112.
- Connell J. H., 1978 - Diversity of Rainforest and Corall reef.. *Science* 199: 1302-1310.
- Corgosinho P.H.C. & Martínez Arbizu P., 2005 – Two new interstitial species of *Remaneicaris* Jakobi 1972 from Ribeirao do Ouro River, Minas Gerais, Brazil, with a redefinition of the genus (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida, Parastenocarididae). *Senckenbergiana Biologica*, 85 (2): 147-162.
- Corrà G., 1968 - L'Adige e le glaciazioni quaternarie nella Val Lagarina. I Quattro Vicariati, *Bibl. Com. Ala, Trento*, 12 (3): 1-9.
- Cottarelli V., Berera R. & Maiolini B., 2002 - Annotazioni faunistiche ed ecologiche su Copepodi di alta e media quota di sorgenti e corsi d'acqua alpini, appenninici e sardi. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, v. 78 (I) (2001),pp. 25 – 30.
- Cottarelli V., Berera R. & Maiolini B., 2004 – *Hyocamptus ruffoi* sp. n. e *Hypocamptus paradoxus* (Kreis, 1926) (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida) in torrenti d'alta quota del Parco Nazionale dello Stelvio. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81: 37-47.
- Cottarelli V., Bruno M. C., Berera R., 2006 - Interstitial harpacticoids from groundwater in Tuscany (Central Italy): *Parastenocaris reidae* sp. nov., *Nitocrella ensifera* sp. nov., and notes on the morphology of *Parastenocaris* cf. *glacialis* Noodt (Crustacea: Copepoda). *Italian Journal of Zoology*, in stampa.
- Cottarelli V., Bruno M.C. and Berera R., 2008 - Two new species of *Parastenocaris* (Copepodi, Harpacticoida, Parastenocarididae) from groundwater of Sardinia and Sicily. *Crustaceana* 81 (5): 537-555.
- Craig P.C. & McCart P.J., 1975 - Classification of stream types in Beaufort Sea drainages between Prudhoe Bay, Alaska, and the Mackenzie Delta, N.W.T., Canada. *Arctic and Alpine Research*, 7: 183-198.

- Crema S., Ferrarese U., Golo D., Modena P., Sambugar B. & Gerecker R., 1996 – Ricerche sulla fauna bentonica ed interstiziale di ambienti sorgentizi in area alpina e prealpina. Centro di Ecologia Alpina, Report n. 8, Trento.
- Cressey R.F. and Patterson C., 1973 - Fossil parasitic Copepods from a Lower cretaceous fish. *Science*, 180: 1283-1285.
- Cummins K.W., 1974 - Structure and function of stream ecosystem. *Bioscience*, 24: 631-641 pp.
- Cummins K.W., Wilzbach M.A., 1985 - Field procedures for analysis of functional feeding groups of stream macroinvertebrates. University of Maryland, Forstburg, Maryland 21532, U.S.A.
- Danielopol D.L., Creuzè des Châtelliers, Moeßlacher F., Pospisil P. & Popa R., 1994 - Adaptations of Crustacea to interstitial habitats: a practical agenda for ecological studies. *Grounwater Ecology* (eds J. Gibert, D.L. Danielopol and J.A. Stanford), pp. 218-243. Academic Press, San Diego.
- D'Ambrosio P., Fiasca B., Galassi D.M.P., 2003 - Caratterizzazione tipologica, biologica ed ambientale di sistemi sorgivi del Gran Sasso (Abruzzo). *Thalassia Solentina* 26:249-260.
- Di Lorenzo T., De Laurentiis P. & Galassi D.M.P., 2003 – L'inferenza biologica nella valutazione del grado di protezione naturale di sorgenti carsiche captate. *Thal. Sal.*, 26: 241-248.
- Dussart B.H., 1967 - Les copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale. Tome I: Calanoides et Harpacticoides. Boubee et Cie. (ed.), Paris. II. 500 pp.
- Dussart B. & Defaye D., 1990 – Répertoire Mondial Crustacés Copépodes des Eaux Intérieures. I. Harpacticoïdes. *Crustaceana Supplement* 16: 1-384.
- Einsle U., 1993 - Crustacea Copepoda Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fisher Verlag Stuttgart – Jena – New York.
- Festi A., 2003 – Impatto di opere di captazione a scopi idroelettrici sui torrenti d'alta quota (Parco Nazionale dello Stelvio, Trentino). Tesi di laurea: 116 pp.
- Fiasca B., Di Lorenzo T., De Laurentis P., Pantani C. & Galassi D.M.P., 2004 - Biodiversità acquatica sotterranea nel Parco Nazionale del Gran Sasso – Monti della Laga: analisi taxocenotica (Crustacea, Copepoda) e proposte di conservazione. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biologica*, 81: 157-166.
- Frey D.G., 1964 - Remains of animals in Quaternary lake and bog sediments and their interpretation. *Arch. Hydrobiol. Beith., Ergebn. Limnol.* 2: 1-114.

- Füreder L., 1999 - High alpine streams: cold habitats for insect larvae. In Margesin, R., & Schinner, F. (eds.), *Cold Adapted Organisms: Ecophysiology, Enzymology and Molecular Biology*. Berlin: Springer-Verlag, 181-196.
- Galassi D.M.P., 1997 – Little known harpacticoid copepods from Italy and description of *Parastenocaris crenobia* n. sp. (Copepoda, Harpacticoida). *Crustaceana*, 70: 694-709.
- Galassi M.P., 2001 - Groundwater copepods: diversity patterns over ecological and evolutionary scales. *Hydrobiologia* 453/454: 227-253.
- Galassi D.P. & Pesce G.L., 1991 – *Elaphoidella mabelae* n. sp., a new crenobiont harpacticoid from Abruzzo (central Italy) (Crustacea Copepoda: Canthocamptidae). *Crustaceana*, 60 (1): 1-6.
- Galassi D.M.P. & De Laurentiis P., 1997a – *Pseudectinosoma reductum*, a new ectinosomatid harpacticoid from springwaters in Italy (Crustacea: Copepoda). *Hydrobiologia*, 356: 81-86.
- Galassi D.M.P. & De Laurentiis P., 1997b – Two new species of *Nitocrella* from groundwaters of Italy (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida). *Ital. J. Zool.* 64: 367-376.
- Galassi D.M.P. & De Laurentiis P., 2004 - Towards a revision of the genus *Parastenocaris* Kessler, 1913: establishment of *Simplicaris* gen. nov. from groundwaters in central Italy and review of the *P. brevipes*-group (Copepoda, Harpacticoida, Parastenocarididae). *Zool. J. Linn. Soc.*, 140:417-436.
- Gerecke R. & Cantonati C., 1998 - Gli Idracari. In: Cantonati M. (ed.) – *Le sorgenti del Parco Adamello-Brenta, ricerche idrobiologiche su fonti non captate*. Parco Documenti: 145-150.
- Ghetti P.F., 1997 - *Indice Biotico Esteso (I. B. E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*. Manuale di applicazione. P. A. T., Trento, 222 pp.
- Gibert J., Stanford J.A., Dole-Oliver M.J. & Ward J.V., 1994 - Basic attributes of groundwater ecosystems and prospects for research. *Groundwater Ecology* (eds J. Gilbert, D.L. Danielopol and J.A. Stanford), pp. 7-40. Academic Press, San Diego.
- Gorfer A., 1975 – *Le Valli del Trentino, guida geografico-storico-artistico ambientale*. (Vol. 1), Trentino Occidentale, Villalagarina, Arti Grafiche Manfrini, 292-308 pp.
- Hicks G. R., and Coull B. C., 1983 - The ecology of marine meiobenthic harpacticoids copepods. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 21: 67-125.

- Hieber M., 2002 b - Alpine Lake Outlets: Distinctive Alpine Stream Types?- EAWAG news, 54: 9-11.
- Hynes H.B.N., 1975 - The stream and its valley. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 19, 1-15.
- Hose G.C., Jones P. & Lim R.P., 2005 - Hyporheic macroinvertebrates in riffle and pool areas of temporary streams in south eastern Australia. Hydrobiologia, 532: 81-90.
- Husmann S., 1975 – The borealpine distribution of groundwater organisms in Europe. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, pp. 2983-2988.
- Hutchinson G.F., 1959 - Homage to Santa Rosalia, or Why are there so many kinds of animals? Amer. nat. 93: 145-159.
- Huys R. and Boxshall G.A., 1991 - Copepod evolution. Ray Society, London. No. 159, 468 pp.
- Jersabek C. D., Brancelj A., Stoch F. & Schabetsberger R., 2001 – Distribution and ecology in mountainous regions of the eastern Alps. Hydrobiologia 453/454: 309-324.
- Illies J., 1969 - Biogeography and ecology of neotropical freshwater insects, especially those from running waters. Biogeography and Ecology in South America, Vol. 2 (Eds E.J. Fittkau, J. Illies, H. Kling, G.H. Schwabe & H. Sioli), pp. 685-708.
- Karanovic T., 2005 – Two new subterranean Parastenocarididae (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida) from Western Australia. Records of the Western Australian Museum Volume: 22(Part 4): 353-374.
- Kiefer F., 1981 – Ruderfusskrebse (Crustacea Copepoda) aus dem Interstitial einiger norditalienischer Flüsse. Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 8: 275-285.
- Klein B. and Tockner K., 2000 - Biodiversity in springbrooks of a glacial flood plain (Val Roseg, Switzerland). Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie 27: 704-710.
- Kownacki A., 1985 - Effect of drought on the invertebrate communities of high mountain streams. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 22: 2069-2072.
- Kownacki A., 1991 - Zonal distribution and classification of the invertebrate communities in high mountain streams in South Tirol (Italy). Verh. Internat. Verein. Limnol., 24: 2010-2014.
- Lee D.S., Gilbert C.R., Hocutt C.H., Jenkins R.E., McAllister D.E. & Stauffer Jr. J.R., 1980 - Atlas of North American Freshwater Fishes. North Carolina State Museum of Natural History, Raleigh, NC, 867 pp.

- Lencioni V., 2000 - Chironomid (Diptera: Chironomidae) assemblages in three Alpine glacial systems. Ph.D. Thesis, University of Innsbruck (Austria), 202 pp.
- Lencioni V., 2004 - Survival strategies of freshwater insects in cold environments. *Journal of Limnology*, 63 (Suppl. 1): 45-55.
- Lencioni V., Maiolini B. & Rossaro B., 2000 – The kryal and rhithral chironomid community in the Carè Alto system (Italian central-eastern Alps). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 27: 711-715.
- Löffler H., 1968 - Die Crusteenfauna der Binnengewässer ostafrikanischer Hochberge. *Hochgebirgsforschung* 1: 107-169.
- Löffler H., 1972 - Contribution to the limnology of high mountain lakes in Central America. *Int. Rev. ges. Hydrobiologia* 57: 397-408.
- MacIntyre A.D., 1969 - Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.* 44: 245-290.
- Marcotte B.M., 1983 - The imperative of copepod diversity: perception, cognition, competition and predation. In: Schram, F.R. (ed.), *Crustacean phylogeny*. Balkema, Rotterdam, 47-72 pp.
- Mac Arthur R.H. & Wilson E.O., 1967 - *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 203 pp.
- Maiolini B. & Lencioni V., 2001 - Longitudinal distribution of macroinvertebrate community assemblages in a glacially influenced system in the Italian Alps. *Freshwater Biology*, 46: 1625-1639.
- Maiolini B., Lencioni V., Boscaini A., Franceschini A. & Margoni S., 2002 - Variazioni della biodiversità nello spazio e nel tempo in un ecosistema fluviale glaciale: il Noce Bianco (Trentino, Italia). 63° Congresso Nazionale dell'Unione Zoologica Italiana, Università della Calabria, Rende (CS), 22-26 settembre 2002.
- Maiolini B., Lencioni V., Berera R. and Cottarelli V., 2005 - Effects of flood pulse on the hyporheic harpacticoids (Crustacea, Copepoda) in two high altitude Alpine streams. *Meiofauna Marina*, Vol. 14, pp. 105-108.
- Malard F., Dole-Oliver M.J., Mathieus J., Stock J.H., 2003 – Sampling manual for the assessment of regional groundwater biodiversity. PASCALIS European Project: Protocols for the assessment and conservation of aquatic life in the subsurface. UMR CNRS 5023. Ecologie des Hydrosystèmes Fluviaux. Université Claude Bernard, Lyon, France. 74 pp.
- Margalef R., 1958 - Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-71.

- Mezzanotte E., Sambugar B., 2004 - Contributo alla conoscenza della fauna delle sorgenti. Il Monte Pastello, Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona – 2. Serie – Monografie naturalistiche 1, 283-292.
- Milner A. M. & Petts G. E., 1994 - Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshwater biology* 32: 295-307.
- Minelli A., Chemini C., Argano R., Ruffo S., 2002 – *La fauna in Italia*, Touring Editore, Milano e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma, 448 pp.
- Minshall G. W., and Petersen R. C., 1985 – Towards a theory of macroinvertebrate community structure in relation to mode of colonization and season. *American Midland Naturalist* 135: 92-101.
- Morrice J. A., Vallet H. M., Dahm C. N., Campana M. E., 1997 – Alluvial characteristics groundwater surface water exchange and hydrological retention in headwater streams. *Hydrological Processes*, 11: 253-567.
- Naiman R.J., Holland M.M., Décamps H., and Risser P.G., 1988 - A new UNESCO Programme: Research and management of land/inland-water ecotones. *Biology International* 17:107-136.
- Palmer A.R., 1960 - Miocene Copepods from the Mojave desert, California. *J. paleontol.*, 34: 447-452.
- Palmer A.R., 1969 - Copepoda. In: *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part R, Artropoda 4. Crustacea (except Ostracoda), Myriapoda, Hesapoda*: 200-203.
- Palmer M.A. & Strayer D.L., 1996 – Meiofauna. In *Methods in Stream ecology*, ed. FR Hauer, GA Lamberti, pp. 315-37. San Diego: Academic.
- Patalas K., 1964 - The crustacean plankton communities in 52 lakes of different altitudinal zones of northern Colorado. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 15: 719-726
- Pesce G.L., 1996 - Biocenosi a Copepodi dell'alto corso del Fiume Vomano e alcune sorgenti del Gran Sasso. In: Cicolani B. (ed.), *Monitoraggio biologico del Gran Sasso, Parte Terza*, Andromeda Editrice, Colledara (Teramo), pp. 292-296.
- Pesce G.L., Galassi D.P. & Cottarelli V., 1995 – *Parastenocaris lorenzae* n. sp., and first record of *Parastenocaris glacialis* Noodt (Copepoda, Harpacticoida) from Italy. *Hydrobiologia*, 302: 97-101.
- Pesta O., 1923 - Hydrobiologische Studien über Ostalpenseen. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 3: 385-595.
- Pesta O., 1935 - Kleingewässerstudien in den Ostalpen. *Arch. Hydrobiol.* 29:296-345.
- Pielou E.C., 1966 - The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 131-144.

- Poff N.L. & Ward J.V., 1989 - Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: A regional analysis of streamflow patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46, 1805-1818.
- Raschioni R., 2002 – Prime osservazioni sulle modalità di ricolonizzazione di substrati sabbiosi da parte di Arpacticoidi meiobentonici. Tesi di laurea, 72 pp.
- Raschioni R., Maiolini B. & Cottarelli V., 2007 - Copepodi Arpacticoidi di torrenti d'alta quota nei sistemi glaciali di Val Conca e Val de La Mare: osservazioni su distribuzione ed ecologia. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 83: 87-92.
- Reed E. B., 1970 - Copepoden und Cladoceren aus der Umgebung von Obergurgl und Kühtai, Tirol. *Ber. Nat.-med. Ver. Innsbruck* 58: 219-248.
- Reed E. B. & Olive R., 1958 - Altitudinal distribution of some Entomostraca in Colorado. *Ecology* 39: 66-74.
- Reid J.W., 1994 – *Murunducaris juneae*, new genus, new species (Copepoda: Harpacticoida: Parastenocarididae) from a wet campo in central Brazil. *J. crust. Biol.* 14: 771-781.
- Ruffo S. and Stoch F. (eds), 2006 – Checklist and Distribution of the Italian Fauna. *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona. 2. Serie. Sezione Scienze della Vita* 17, with CD-ROM.
- Sartori G., Mancabelli A., Wolf U., Corradini F., 2005 - Atlante dei suoli del Parco Naturale Adamello-Brenta: Suoli e paesaggi. Museo Tridentino di Scienze Naturali. *Monografie II*. 240 pp.
- Sarvala J., 1979 - Effect of temperature on the duration of egg development of some freshwater benthic Copepoda. *Freshwater Biol.* 9: 515-534.
- Schütz C., 1999 - The benthic fauna of high alpine streams. Ph.D. thesis. Università di Innsbruck, Innsbruck, Austria.
- Shannon C.E., Weaver W., 1949 - The mathematical theory of communication. Urbana, Univ. Illinois Press.
- Stanford J. A. & Ward J. V., 1993 - An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *J. n. am. Benthol. Soc.* 12: 48-60.
- Stanford J. A., Ward J. V. & Ellis B. K., 1994 – Ecology of the alluvial aquifers of the Flathead River, Montana. *Groundwater Ecology* (eds. J. Gibert, D. L. Danielopol and J. A. Stanford), pp. 367-390. Academic Press., San Diego.
- Statzner B. & Higler B., 1985 - Questions and comments on the River Continuum Concept. - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42, 1038-1044.

- Steinmann P., 1907 - Die Tierwelt der Gebirgsbäche. Eine faunistischbiologische Studie. Annales de Biologie lacustre, 2: 30-150.
- Sterba G., 1962 - Freshwater Fishes of the World. Vista, London, 878 pp.
- Stoch F., 1993 - Indagini faunistiche sui crostacei delle acque sotterranee della Val Torre (Italia Nord-Orientale). GORTANIA – Atti Museo Friulano Storia Naturale, 14: 167-183.
- Stoch F., 1995 – The ecological and historical determinants of crustacean diversity in groundwaters, or: why are there so many species? Mém. Biospéol., 22: 139-160.
- Stoch F., 1996 – *Moraria alpina* n. sp. and redescription of *Moraria radovnae* Brancelj 1988, new rank, from Italian and Slovenian Alps (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida). Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol. V. 73, 135-145 pp.
- Stoch F., 1997 - La Fauna delle acque carsiche sotterranee delle Valli del Natisone. Mem. Ist. It. Spel., serie II, 9: 89-100.
- Stoch F., 1998b - Fauna a microcrostacei (copepodi e ostracodi). In: Cantonati M. (ed), Le sorgenti del Parco Adamello-Brenta, Parco documenti, Strembo (Tn), 151-159 pp.
- Stoch F., 2001 - La Fauna acquatica della Tana della Mussina (2 E/RE). Istituto Italiano di Speleologia. Memoria 11, s. II, 141-145 pp.
- Stoch F. e Tomasin G., 2002 - La fauna delle acque carsiche sotterranee del Montello. Speleologia Veneta, Volume 10, 41-70.
- Stoch F., 2003 - Indagini ecologiche e faunistiche sulla meiofauna (acari e crostacei) di alcune sorgenti del Parco Naturale delle Prealpi Giulie (Italia Nord-Orientale). GORTANIA – Atti Museo Friulano di Storia Naturale, 25: 245-260.
- Stoch F., 2004 - Prime osservazioni sulla fauna delle acque carsiche sotterranee delle Alpi Carniche. Memorie Istituto Italiano Speleologia, s. II, vol. XV, 87-95 pp.
- Stoch F., 2006 – I Copepodi. In: Samburag B., G. Dessi, A. Sapelza, A. Stenico, B. Thaler & A. Veneri, Fauna sorgentizia in Alto Adige. Provincia Autonoma di Bolzano. 322-323 pp.
- Tilzer M., 1968 – Zur Ökologie und Besiedlung des hopchalpinen hyporheischen Interstitials im Arlberggebiet (Österreich). Arch. Hydrobiol., 65 (3), 253-308 pp.
- Tolotti M., Manca M., Angeli N., Morabito G., Thaler B., Rott. E. & Stuchlik E., 2006 - Phytoplankton and zoo plankton associations in a set of Alpine high altitude lakes: geographic distribution and ecology. Hydrobiologia, 562: 99-122.
- Tonolli V. & Tonolli L., 1951 - Osservazioni sulla biologia ed ecologia di 170 popolamenti zooplanctonici di laghi italiani di alta quota. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 6: 53-136.

- Tockner K., Malard F., Burgherr P., Robinson C.T., Uehlinger U., Zahn R., Ward J.V., 1997 - Physico-chemical characterization of channel types in a glacial flood plain (Val Roseg Switzerland). *Archiv für Hydrobiologie* 140, 433-463.
- Vannote R. L., Cummins K.W., Minshall G.W., Sedell J.R. & Cushing C.E., 1980 - The river continuum concept. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37: 130-137.
- Vervier P., Gilbert J., Marmonier P. & Dole-Oliver M.J. 1992 - A perspective on the permeability of the surface freshwater-groundwater ecotone. *Journal of the North American Benthological Society*, 123, 401-412.
- Ward J.V., 1985 - Thermal characteristics of running waters. *Hydrobiologia*, 125, 31-46.
- Ward J.V., 1992 - *Aquatic Insects Ecology*, Vol. 1: Biology and Habitat. Wiley, New York 438pp.
- Ward J.V., 1994 - Ecology of alpine stream. *Freshwater biology* 32: 277-294.
- Ward J.V., 2002 - The Ecology of Alpine Streams- *EWAG news* 54, 3-5.
- White D.S., 1993 – Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 12: 61-69.
- Williams D.D. & Hynes H.B.N., 1974 - The occurrence of benthos deep in the substratum. *Freshwater Biology*, 4, 233-256.

Siti di riferimento

- <http://www.archeologia.com/~pantalica/glaciazioni.htm> Ultimo accesso: (01/12/2008)
- <http://www.bacino-adige.it> Ultimo accesso: (25/11/2008)
- <http://www.adbpo.it> Ultimo accesso: (25/11/2008)
- <http://www.magicoveneto.it> Ultimo accesso: (25/11/2008)
- <http://www.pnab.it/index.php?id=71> Ultimo accesso: (25/11/2008)

10) RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo lavoro di tesi, desidero esprimere i più sentiti ringraziamenti:

- al mio Tutor, il Prof. Vezio Cottarelli per avermi dato l'opportunità di svolgere questa ricerca e per avermi fatto conoscere in profondità il mondo dei Copepodi Arpacticoidi;
- al mio Cotutor dott. Bruno Maiolini, Conservatore per la Sezione di Zoologia degli Invertebrati ed Idrobiologia del Museo Tridentino di Scienze Naturali, per la professionalità e l'umanità con cui mi ha seguito e per i suoi incoraggiamenti;
- ai miei ex colleghi del Museo Tridentino di Scienze Naturale di Trento per l'aiuto fornito durante i campionamenti in alta quota;
- al dottor Enrico Cosimi per avermi aiutato a gestire un database molto complesso e con moltissime informazioni;
- alla dottoressa Maria Cristina Bruno, per i suoi commenti costruttivi;

Voglio inoltre ringraziare:

- mio marito Alberto per avermi sopportato ed aiutato durante le ultime fasi della correzione e stesura della tesi e per avermi incoraggiato e spronato a superare i diversi momenti di sfiducia insieme a tutta la mia famiglia.

Appendice

Osservazioni in laboratorio sulla biologia di *B. (A.) cuspidatus*

Qui viene presentata una breve sintesi dei risultati riferiti ad osservazioni effettuate in laboratorio su questa specie che come precedentemente visto è una delle più interessanti per la sua ampia distribuzione e per l'ampia valenza ecologica.

Queste osservazioni partano dal fatto che, mentre sulle Alpi la specie è stata rinvenuta praticamente in tutti gli ambienti indagati e sull'appennino abruzzese (Galassi, 1997a) in ambiente iporreico, sul monte Limbara in Sardegna, questa specie è stata trovata soltanto con il lavaggio della vegetazione sommersa di un corso d'acqua che si prosciuga completamente durante i mesi estivi. Ci siamo perciò chiesti come potesse ricomparire la popolazione anno dopo anno (il Limbara è stato indagato per almeno quattro anni di seguito e *B. (A.) cuspidatus* è stato sempre rinvenuto nell'ambiente sopra indicato).

Un'ipotesi che è stata già prospettata a riguardo (Cottarelli *et al.*, 2002) era quella che la specie fosse in grado di produrre non soltanto uova resistenti alle basse temperature invernali come già segnalato da Dussart (1967) ma anche cisti di resistenza in grado di superare la siccità estiva e poter ricostituire la popolazione durante il periodo autunnale-invernale (Cottarelli com. pers.). Sono stati perciò allestiti allevamenti in laboratorio a partire da materiale vegetale e detriti di fondo prelevati in loco per poter confermare la fondatezza dell'ipotesi stessa.

In laboratorio sono state preparate 20 capsule petri (diametro 9 cm) in plastica con coperchio ed in ognuna di queste sono stati posti 10 gr di vegetazione essiccata e detriti di fondo prelevati dal ruscello denominato "di Santa Maria della Neve" a 1300 m s.l.m. sulla vetta del Monte Limbara (40° 51' 20.55" N 9° 9' 59.45"E) V. Cottarelli leg. il 10 luglio 2007.

All'interno delle capsule sono stati aggiunti 50 cm³ di acqua di lago filtrata con un retino da plancton con maglia da 70 micrometri. Le capsule sono state tenute a temperatura ambiente in laboratorio durante i mesi ottobre-dicembre per un periodo di 90 giorni.

Le capsule sono state controllate allo stereomicroscopio ogni 48 ore e dopo sei giorni si è potuta osservare la comparsa, in alcune delle capsule, dei primi naupli e metanaupli di Copepodi.

E' stato necessario attendere 22 giorni dall'inizio dell'esperimento per poter identificare gli esemplari adulti che man mano comparivano nelle capsule. Accanto ad alcuni Ciclopoidi abbiamo potuto identificare diversi esemplari maschi e femmine di *B. (A.) cuspidatus* ed

anche un numero minore di esemplari di *B. (A.)* sp (Cottarelli *et al.*, 2002; Cottarelli *et al.*, 2008).

In 12 delle 20 capsule sono stati ottenuti complessivamente 16 maschi e 18 femmine adulti di *B. (A.) cuspidatus* ed anche alcuni esemplari di *B. (A.)* sp (Cottarelli *et al.*, 2002). E' interessante osservare che 6 femmine erano ovigere (2 uova ciascuna) a dimostrazione che il ciclo biologico si è svolto correttamente.

Questi primi risultati (il lavoro definitivo è ancora in preparazione) sembrano molto interessanti perché a mio parere “giustificano” il fatto che fra le specie boreo-alpine, *B. A. cuspidatus* è sicuramente una di quelle di maggior successo evolutivo: il poter disporre della possibilità di sopravvivere anche in corsi d'acqua soggetti a periodi di secca estiva oltre che alle basse temperature invernali spiega a mio parere la novità della scoperta di questa specie in un ambiente come quello del monte Limbara alquanto diverso da quello dei torrenti alpini e dell'appennino abruzzese d'alta quota.

Si potrebbe quindi concludere che l'elevata plasticità ecologica e biologica di questo taxon renda possibile la messa in atto di differenti strategie di sopravvivenza: in torrenti alpini d'alta quota come quelli da me indagati, nei periodi estivi non esistono difficoltà (questi corsi d'acqua non si prosciugano) e nel periodo invernale questa specie può sopravvivere nelle acque libere al di sotto dello strato superficiale di ghiaccio dei corsi d'acqua ed anche nell'habitat iporreico (come da me osservato) producendo uno stoch di cisti resistenti al freddo in grado di incrementare rapidamente la popolazione quando si verificano condizioni ambientali favorevoli come in primavera.

Sul Limbara la strategia di sopravvivenza invernale potrebbe coincidere con quella sopra descritta per i torrenti d'alta quota. In estate però, il rapido processo di prosciugamento del piccolo ruscello della vetta del Limbara rappresenta un ostacolo insormontabile per gli adulti e giovani di questa specie. In analogia con quanto noto per diversi altri crostacei componenti della fauna di acque temporanee e/o intermittenti le cisti di resistenza sembrano essere effettivamente la soluzione ottimale. La presenza di queste cisti solamente ipotizzata è stata ora , come visto, confermata da queste ricerche in laboratorio che in conclusione rafforzano l'assunto iniziale dell'elevata plasticità e capacità di adattamento o se si vuole dell'ampia valenza ecologica di *B. (A.) cuspidatus* alle diverse situazioni ambientali.