



Article

La fauna bentonica del Rio Presena: distribuzione longitudinale e stagionalità

Federica Bressan, Alessandra Franceschini, Francesca Paoli, Valeria Lencioni*

MUSE-Museo delle Scienze, Corso del Lavoro e della Scienza 3, 38122 Trento (Italia)

Parole chiave

- Chironomidae
- torrente glaciale
- impatto antropico
- cambiamento climatico globale
- bacino del Noce, Alpi

Key words

- Chironomidae
- glacial-stream
- human impact
- climatic change
- Noce river catchment, Alps

* Autore per la corrispondenza:
e-mail: valeria.lencioni@muse.it

Riassunto

L'obiettivo di questo lavoro è quello di studiare la comunità dei macroinvertebrati del Rio Presena, un torrente glaciale alimentato dalle acque di fusione dell'omonimo ghiacciaio, in fase di rapido ritiro e altamente sfruttato per l'attività sciistica. Lo studio è stato condotto nei mesi di luglio, agosto e settembre 2015 in quattro siti lungo il torrente, tra 2685 m s.l.m. (a pochi metri dalla fronte glaciale), e 1349 m s.l.m. (alcune centinaia di metri a valle della confluenza con il Torrente Vermigliana). Dalla stazione più a monte a quella del fondovalle si è osservato, come atteso, un aumento della temperatura e della trasparenza dell'acqua, un aumento della disponibilità di cibo (misurata come concentrazione di clorofilla *a* e peso della sostanza organica depositata sul fondo) e un aumento della diversità biologica, in accordo con il Modello di Milner & Petts (1994). Nonostante il forte ritiro, nel Rio Presena sopravvive la comunità "glaciale" attesa, dominata nel tratto più a monte da *Diamesa* spp. (Diptera Chironomidae). Infine, il lavoro mette in evidenza l'inapplicabilità degli indici di qualità ecologica IBE e STAR_ICMi per valutare lo stato ecologico in tratti di torrente che scorrono al di sopra della linea degli alberi.

Summary

The aim of this research was to study the macroinvertebrate community structure of the Presena stream, a glacier-fed stream fed by the homonymous glacier. The Presena glacier is retreating very fast and exploited as a ski resort. The study was carried out in summer 2015, from June to September, in four study sites between 2685 m a.s.l. (at the glacier snout) and 1349 m a.s.l. (few hundred meters downstream of the confluence with the Vermigliana stream). Water temperature, transparency, food availability (as chlorophyll *a* and BPOM) increased with increasing distance from the glacier, as expected for a typical glacier-fed stream. Invertebrate taxa richness and diversity increased as well from upstream to downstream, according to the Milner and Petts model (1994). Despite the rapid retreating, in the first hundred meters from the snout a typical kryal community persists, dominated by *Diamesa* spp. (Diptera Chironomidae). Finally, the study confirmed the inadequacy of the standard indices adopted by the Italian law to monitor the water quality (IBE) and ecological status STAR_ICMi of the river in high mountain streams, flowing above the tree line.

Redazione: Valeria Lencioni e Marco Avanzini

pdf: http://www.muse.it/it/Editoria-Muse/Studi-Trentini-Scienze-Naturali/Pagine/STSN/STSN_97-2018.aspx

Introduzione

I torrenti d'alta quota, che scorrono al di sopra della linea degli alberi, ospitano comunità animali diverse in funzione della loro origine. Quelli alimentati da acque di fusione glaciale (= kryal) sono considerati ambienti "estremi" per la vita, poiché freddi (con temperatura media annuale attorno agli 0 °C), turbolenti (con portate estremamente variabili nel corso della giornata in estate e gelati in inverno) e colonizzati da poche specie vegetali e animali (Ward 1994; Lencioni 2004). In particolare, le uniche specie animali che li colonizzano sono insetti stenotermi freddi (Ditteri Chironomidi), Oligocheti e Nematodi (Lods-Crozet et al. 2001). La diversità biologica aumenta al diminuire della "glacialità" del torrente grazie al contributo di acque di diversa origine (es. sorgenti) e, al diminuire della quota, è favorita la colonizzazione da parte di altri insetti euritermi come Plecotteri, Efemerotteri e Tricotteri nei tratti glacio-ritrali, dove la temperatura dell'acqua rimane in genere sempre al di sopra degli 0 °C e quella estiva può raggiungere i 10-12 °C (Brittain & Milner 2001).

Negli ultimi decenni, il cambiamento climatico globale e lo sfruttamento non sostenibile delle risorse naturali hanno portato considerevoli effetti negativi sugli ecosistemi glaciali alpini (Beniston 2013). I ghiacciai alpini hanno perso più del 50% della loro superficie dal 1850 (fine della Piccola Età Glaciale, PEG) al 2003, e si stima che nel 2100 rimarrà il 4-13% della superficie glacializzata del 2003 nelle Alpi (Zemp et al. 2006; Huss 2012). In particolare in Trentino l'estensione dei ghiacciai (oggi di 32 km²) si è ridotta del 70% dalla fine della PEG

a fronte dell'aumento della temperatura dell'aria di 1 °C negli ultimi 30 anni e di 2 °C dal periodo preindustriale (Casarotto & Bertoni 2015). Tutti i ghiacciai con un'estensione inferiore a 1 km² (= 80% dei ghiacciai Alpini) sono destinati a scomparire entro la fine del XXI secolo se la temperatura continuerà ad aumentare (è previsto un aumento di 2-4 °C) (Diolaiuti et al. 2012). Dal 2003 si è registrata addirittura un'accelerazione del ritiro glaciale nelle Alpi del 2% (Casarotto & Bertoni 2015). Di conseguenza cambia il regime termico, idraulico e geomorfologico dei torrenti alimentati dai ghiacciai a cui si associano cambiamenti nella struttura e nelle caratteristiche funzionali della comunità animale che li popola (Milner et al. 2017). I corsi d'acqua alimentati dai ghiacciai stanno subendo un'evoluzione a più fasi con un iniziale e significativo aumento di portata associabile alla presenza di un ghiacciaio ancora esteso ed elevato tasso di fusione, fino alla completa scomparsa del ghiacciaio e alla trasformazione del torrente da tipologia "criale" a "ritrale" (Jacobsen et al. 2012). La biodiversità glaciale è a rischio di estinzione a causa del ritiro dei ghiacciai e della scomparsa dell'habitat criale tipico. Stiamo assistendo alla risalita di specie euriterme verso quote elevate in tratti di torrente in passato esclusivi per Chironomidi Diamesini (*Diamesa* spp.) e alla scomparsa di alcune specie di *Diamesa* (*Diamesa steinboeckii* Goetghebuer in particolare) che vivono solo in questi torrenti (Lencioni 2018). Si avrà la riduzione complessiva della gamma diversità e l'omogeneizzazione tassonomica ed ambientale degli habitat alpini (Cauvy-Fraunié et al. 2015, Sertić Perić & Robinson 2015; Rossaro et al. 2016).

L'obiettivo di questo studio è quello di studiare la comunità

Tab. 1 - Localizzazione dei quattro siti di campionamento (foto archivio MUSE). Georeferenziazione con GPS Garmin eTrex® 30. / Localisation of the four sampling sites (photo (c) MUSE). Georeferentiation with GPS Garmin eTrex® 30.

SITO	TIPOLOGIA	COORDINATE	QUOTA (m s.l.m.)	
PRO (Presena)	metakryal	N 46°13.596' E 010°34.929'	2685	
PR1 (Presena)	hypokryal	N 46°13.716' E 010°35.098'	2665	
PR2 (Presena)	glacio-rhithral	N 46°14.406' E 010°36.036'	2211	
BV (Vermigliana)	rhithral	N 46°16.493' E 010°38.925'	1349	

Tab. 2 - Caratteristiche idrogeomorfologiche dei quattro tratti di torrente studiati. / Hydrogeomorphological features of the four stream reaches.

	PR0	PR1	PR2	BV
Tipo di flusso (sensu ISPRA 2014)	Caotico/ increspato	Increspato/ unbroken standing waves	Increspato/caotico	Chute/ broken standing wave
Granulometria dell'alveo (%)	Megalithal (9%), Macrolithal (5%), Mesolithal (14%), Microlithal (23%), ghiaia (23%) e sabbia (26%)	Mesolithal (40%), Microlithal (38%), ghiaia (15%) e sabbia (5%)	Megalithal (29%), Macrolithal (14%), Mesolithal (14%), Microlithal (9%), ghiaia (19%) e sabbia (14%)	Megalithal (22%), Macrolithal (14%), Mesolithal (22%), Microlithal (14%), ghiaia (19%) e sabbia (9%)
Profondità (cm)	9,3 ± 1,2	11,5 ± 3,9	18,7 ± 3,9	21,5 ± 2,0
Portata (L/s)	17,3	19	178,5 ± 106,8	278,2 ± 238,5

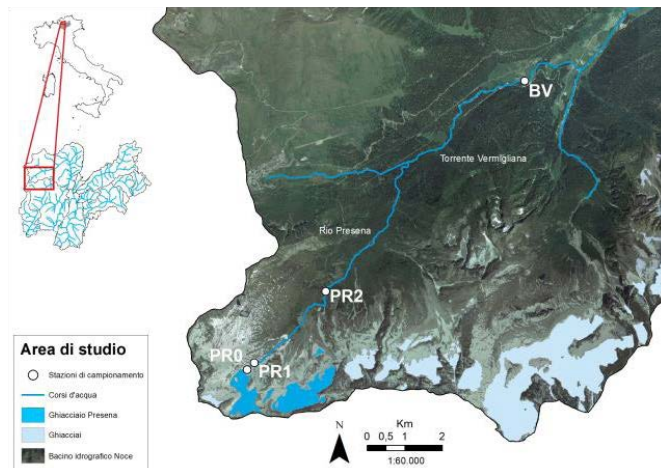


Fig. 1 - Area di studio. / Study area.

dei macroinvertebrati del torrente glaciale Rio Presena lungo un gradiente altitudinale, dalla fronte del ghiacciaio omonimo al fondovalle, e di valutare lo stato ecologico del torrente con gli indici Indice Biotico Esteso e STAR_ICMi. Il Rio Presena è alimentato da un piccolo ghiacciaio in rapido ritiro, utilizzato da decenni anche come stazione sciistica.

Materiali e metodi

Area di studio

L'area di studio comprende la Val Presena e la Val Vermiglio, due valli secondarie pensili situate nella parte NO dell'alta Val di Sole, in Trentino Alto Adige. L'area include il Ghiacciaio Presena Occidentale situato all'interno del Gruppo Montuoso Adamello-Presanella nelle Alpi Retiche Meridionali, tra 3010 e 2679 m s.l.m. (codice CGI 684.0; 46°13'23" N, 10°34'54" E) (Figura 1). È un ghiacciaio montano di circo-pendio esposto a Nord, con area, nel 2011, di 25 ha (Smiraglia & Diolaiuti, 2015), in progressivo ritiro (Bombarda, 1996; Casarotto & Bertoni 2015) e sfruttato come stazione sciistica. Per ridurre l'ablazione estiva, dal 2008 un'ampia superficie del ghiacciaio viene coperta da teli geotessili (Senese et al. 2014).

Il Rio Presena scorre per 3,36 km lungo ripidi versanti che dalla piana proglaciale del Ghiacciaio Presena portano al fondovalle dove confluisce nel Torrente Vermigliana di origine non-glaciale (è alimentato dalle acque di fusione nivo-glaciale e dalle precipitazioni).

All'interno dell'area di studio sono stati selezionati quattro siti di campionamento, dalla fronte del ghiacciaio (PR0, 2685 m s.l.m.) al fondovalle (BV, 1349 m s.l.m.) (Tabella 1, Figura 1), di cui tre sul Rio Presena (PR0, PR1 e PR2) e uno a valle della confluenza con il Vermigliana (BV). Tra PR0 e PR1 è presente un bacino artificiale su cui è stata costruita da Meteotrentino (Dipartimento Protezione Civile, Servizio Prevenzione Rischi, Ufficio Previsione e Pianificazione della Provincia Autonoma di Trento) una stazione idrometrica per la misura della portata del torrente e della temperatura dell'acqua in continuo (con una registrazione ogni ora).

Dati ambientali

In ogni stazione (PR0, PR1, PR2, BV) e data (luglio, agosto e settembre 2015) sono state registrate: la temperatura dell'acqua (°C), la concentrazione di ossigeno disciolto (mg l^{-1}), la percentuale di ossigeno disciolto (%), la conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$), il pH e la torbidità (NTU) con una sonda multiparametrica da campo (HI 9829, Hanna Instruments <http://www.hanna.it/multiparametro/portatile/hi-9829-multiparametro-portatile-17-parametri/#.W19kknvnhDIU>). La temperatura è stata registrata anche in continuo (ogni ora) con datalogger digitali: Tinytalk mod TK-4014 in dPT-v, Tinytag TGP-4017 in dPT-m. Per Presena PR1 i dati sono stati forniti da Meteotrentino che ha posizionato un datalogger a valle del piccolo bacino proglaciale (mod. SEBA MDS Dipper PT). Negli altri siti la portata (l s^{-1}) è stata calcolata utilizzando il metodo della diluizione del sale (Hongve 1987). La torbidità è stata misurata anche come concentrazione di solidi sospesi (mg l^{-1}) in 250-1000 ml di acqua prelevata dal torrente in base al livello di glacialità del sito. La stabilità dell'alveo è stata valutata con l'Indice di Pfankuch (Pfankuch 1975), un indice soggettivo e visuale, che prevede di assegnare un punteggio parziale a sei variabili relative all'alveo. Sulla base del punteggio totale viene attribuita l'appartenenza ad una delle seguenti categorie di stabilità: stabilità scarsa= 45-60; stabilità discreta= 30-45; stabilità buona= 15-30; stabilità eccellente= <15.

In ogni stazione e data è stato raccolto 1 l di acqua per l'analisi dei nutrienti e sali minerali: alcalinità totale (mg l^{-1}), durezza (°F), sodio (mg l^{-1}), potassio (mg l^{-1}), cloro (mg l^{-1}), fluoruro (mg l^{-1}), magnesio (mg l^{-1}), calcio (mg l^{-1}), azoto ammoniacale (mg l^{-1}), azoto nitrico (mg l^{-1}), azoto totale (mg l^{-1}), ortofosfato (mg l^{-1}), fosforo totale (mg l^{-1}), solfati (mg l^{-1}) e silice (mg l^{-1}). Le analisi sono state eseguite dal Laboratorio accreditato

Tab. 3 - Caratteristiche chimico-fisiche (media \pm dev.st.) dei quattro siti di indagine. Il tasso di decomposizione (k) è stato calcolato secondo Petersen & Cummins (1974). In PR0 e PR1 la portata è stata misurata solo in agosto 2015. / Physical and chemical features of the four study sites. Breakdown rates was calculated according to Petersen & Cummins (1974). In PR0 and PR1 discharge was recorded only in August 2015.

	PRO	PR1	PR2	BV
Temperatura dell'acqua (°C)	1.2 \pm 0.3	2.0 \pm 0.9	5.1 \pm 3.7	7.4 \pm 1.7
Portata (l s ⁻¹)	17.3	19.0	178.4 \pm 106.9	278.2 \pm 238.5
BPOM (g m ⁻²)	0.7 \pm 0.2	0.9 \pm 0.4	1.8 \pm 0.7	1.6 \pm 1.9
Tasso di decomposizione (k)	0.0007	0.0006	0.0007	0.0031
Solidi sospesi (mg l ⁻¹)	187.0 \pm 171.5	18.3 \pm 9.2	9.3 \pm 3.9	8.6 \pm 4.5
pH	7.0 \pm 0.3	6.9 \pm 0.4	6.8 \pm 0.1	7.0 \pm 0.1
Conducibilità (μ S cm ⁻¹)	15.8 \pm 2.9	19.7 \pm 6.8	29.8 \pm 12.8	58.8 \pm 13.7
Alcalinità (mg CaCO ₃ l ⁻¹)	8.6 \pm 1.4	9.2 \pm 3.3	11.4 \pm 2.6	26.4 \pm 7.3
Clorofilla <i>a</i> (μ g cm ⁻²)	0.6 \pm 0.8	1.0 \pm 0.5	0.5 \pm 0.2	2.2 \pm 1.0
N-NO ₃ (μ g l ⁻¹)	146.6 \pm 11.7	185.7 \pm 68.9	152.2 \pm 29.1	316.5 \pm 107.7
N-NH ₃ (μ g l ⁻¹)	22.1 \pm 12.6	14.6 \pm 15.1	5.3 \pm 0.6	8.3 \pm 5.8
P-PO ₄ (μ g l ⁻¹)	6.1 \pm 8.5	1.1 \pm 0.2	1.3 \pm 0.6	5.4 \pm 5.7
PTot (μ g l ⁻¹)	41.9 \pm 61.8	11.9 \pm 11.2	7.6 \pm 3.1	19.3 \pm 5.6
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	0.6 \pm 0.3	0.7 \pm 0.4	1.7 \pm 1.2	3.5 \pm 1.8

Tab. 4 - Indici di diversità. / Diversity indices.

	TAXA_S	INDIVIDUI	DOMINANCE_D	SHANNON_H	EVENNESS_E^H/S
PR0	2 \pm 1	2766 \pm 3709	0.98 \pm 0.03	0.05 \pm 0.09	0.80 \pm 0.35
PR1	3 \pm 2	8066 \pm 7500	0.81 \pm 0.25	0.33 \pm 0.35	0.50 \pm 0.24
PR2	17 \pm 2	32981 \pm 19647	0.71 \pm 0.16	0.72 \pm 0.34	0.13 \pm 0.06
BV	24 \pm 1	103096 \pm 113537	0.24 \pm 0.09	1.77 \pm 0.39	0.26 \pm 0.10

dell'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA-TN).

La produzione primaria è stata misurata come concentrazione di clorofilla *a* (IRSA-CNR 2003). Il tasso di decomposizione della sostanza organica è stato stimato con il metodo proposto da Petersen & Cummins (1974), utilizzando in ciascun sito cinque stecchette abbassalingua in betulla (15x1,8x0,2 cm), seccate in stufa (UML400 Memmert) a 70 °C per 72 ore e pesate (DW0) prima del posizionamento in alveo. Le stecchette sono state lasciate in alveo per 30 giorni, e dopo il ritiro, seccate in stufa a 70 °C per 72 ore, poi incenerite in muffola (A024, Matest) a 500 °C per cinque ore (*Ash Free Dry Weight*, AFDW). Il tasso di decomposizione (k) è stato calcolato in accordo con Petersen & Cummins (1974), come logaritmo del rapporto tra il peso secco finale (AFDW) e peso secco iniziale (DW0) delle stecchette, diviso il numero di giorni di esposizione in alveo.

Dati faunistici

In ogni sito (PR0, PR1, PR2, BV) e data (luglio, agosto e settembre 2015) sono state raccolte cinque repliche di zoobenthos utilizzando, per 2 minuti/replica, un retino tipo Surber (Scubla SNC, Italy) avente dimensioni dell'intelaiatura pari a 22x23 cm per un'area di 0.5 m². I replicati sono stati raccolti secondo il protocollo STAR_ICMi in microhabitat rappresentativi del tratto di torrente investigato. Per ogni microhabitat (raschio, pozza ecc.) sono state raccolte una serie

di informazioni: il tipo di flusso (in base al grado di turbolenza superficiale dell'acqua; ISPRA 2014); la composizione granulometrica del substrato come percentuale di roccia o grandi massi (> 40 cm), massi (> 20 cm), ciottoli (5-20 cm), ghiaia (0,2-5 cm), sabbia (0,01-0,2 cm) e limo (< 0,01 cm); la presenza di coperture algali macroscopiche (es. muschio e *Hydrurus foetidus* (Villars)); la profondità dell'acqua e la velocità di corrente massima (misurata a 2/3 della colonna d'acqua) con un correntometro (OTT Hydrometrie Z30) in accordo con Maiolini & Lencioni (2001) e Lencioni & Rossaro (2005). In ogni stazione e data è stato raccolto anche un campione qualitativo di drift, integrativo al campione di benthos, con un retino con maglie da 250 μ m posizionato per un'ora a monte del tratto investigato con il retino da benthos.

I campioni sono stati filtrati sul campo con rete da 250 μ m e trasferiti in alcol etilico al 75%.

I 60 campioni, conservati in alcool etilico al 75%, sono stati smistati allo stereomicroscopio (MZ 7.5; Leica Microsystems, Germany) (50X) e determinati al livello tassonomico richiesto per l'applicazione degli indici di qualità ambientale IBE e STAR_ICMi, in accordo con Sansoni (1988), Campaioli et al. (1994, 1999), Tachet et al. (2010) e Waringer & Graf (2011). Oltre al gruppo di appartenenza è stato riportato nel database lo stadio vitale, con juv. per le forme giovanili, L per gli stadi larvali, Le per le esuvie larvali, P per le pupe, Pe per le esuvie pupali, A per gli adulti. I Ditteri Chironomidi dei siti criali sono stati determinati a livello di specie. Tutti gli animali raccolti sono conservati nella Collezione Entomologica

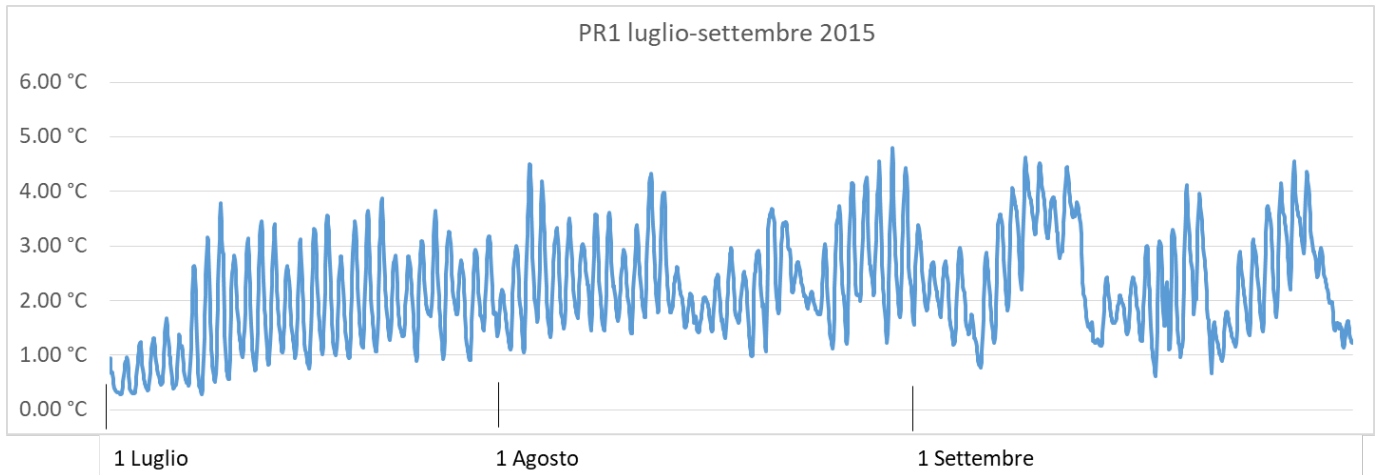


Fig. 2 - Andamento orario della temperature dell'acqua (°C) in PR1 da luglio a settembre 2015. / Hourly water temperature (°C) variation in PR0 from June to September 2015.

del MUSE (cINV017) in alcool etilico al 75% o su vetrino (oltre 100 preparati microscopici permanenti).

La sostanza organica presente nei campioni di macroinvertebrati (BPOM = Benthic Particulate Organic Matter), è stata separata dagli organismi e dal substrato inorganico allo stereomicroscopio. Dopo un primo passaggio di asciugatura in stufa (UML400 Memmert) a 60 °C, da cui è ottenuto il peso secco, si è proceduto con l'incenerimento in muffola (A024, Matest) a 500 °C per un'ora e calcolato l'*Ash Free Dry Weight*.

Analisi dei dati

I dati di abbondanza sono stati espressi come numero di individui m⁻² per sito di indagine e stagione. La diversità biologica (alpha diversità) è stata valutata come numero di taxa (S), numero di individui (N), Indice di Shannon (H), Indice di Dominanza di Simpson (D), e Indice di Evenness (e^{H/S}) in accordo con Hammer et al. (2001). Le differenze significative tra le stagioni e i siti sono state stimate mediante Mann-Whitney U-test e Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$). La relazione tra le variabili ambientali e biologiche è stata valutata con il Modello di Regressione Lineare ($p < 0.05$).

Per le analisi statistiche sono stati utilizzati il software PAST 3.06 (Hammer et al. 2001) e STATISTICA 12.0 © Stasoft.

La qualità dell'acqua e lo stato ecologico sono stati valutati mediante l'applicazione degli Indici IBE (IRSA-CNR 2003) e STAR_ICMi (A.A.V.V., 2007). Per il calcolo dell'Indice STAR_ICMi e l'espressione dell'EQR è stato utilizzato il Software MacrOper.ICM, versione MacrO-

per 1.0.5, 2013 (<http://www.life-inhabit.it/cnr-irsa-activities/it/download/software/macropericmsoft/macropericm-software-download>). Entrambi gli indici consentono di rilevare lo stato complessivo di "qualità ecologica" di un corso d'acqua mediante la definizione di cinque Classi di Qualità: da una condizione "ottimale o attesa" ad una di "massimo degrado". L'IBE tiene conto della presenza nel campione di "taxa" a differenti livelli di sensibilità alle alterazioni del corso d'acqua e la ricchezza totale della comunità. Lo STAR_ICMi è un indice multimetrico che tiene conto di tolleranza, abbondanza/habitat e ricchezza-diversità della comunità di macroinvertebrati.

Risultati e Discussione

Caratteristiche ambientali

Nelle Tabelle 2 e 3 sono riportati i dati idrologici, geomorfologici, chimici e fisici principali dei quattro siti studiati. In Figura 2 è mostrato l'andamento orario della temperatura dell'acqua in PR1.

In Figura 3 sono rappresentati gli andamenti stagionali di alcune delle variabili ambientali con evidente variabilità longitudinale (Figura 3A) e stagionale (Figura 3B e 3C).

Come atteso (Lencioni et al. 2001; Boscaini et al. 2004), data la natura silicea del bacino idrografico, i quattro siti sono caratterizzati da valori medio-bassi di conducibilità ($31,01 \pm 19,57 \mu\text{s cm}^{-1}$), pH ($6.9 \pm 0,23$) e alcalinità ($13,9 \pm 8,44 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$). La temperatura

Tab. 5- Indici di diversità. / Diversity indices.

	PR0	PR1	PR2	BV
IBE	luglio	V	V	I
	agosto	V	V	I
	settembre	V	V	I
STAR_ICMi	luglio	PESSIMO	PESSIMO	ELEVATO
	agosto	PESSIMO	PESSIMO	ELEVATO
	settembre	PESSIMO	PESSIMO	ELEVATO

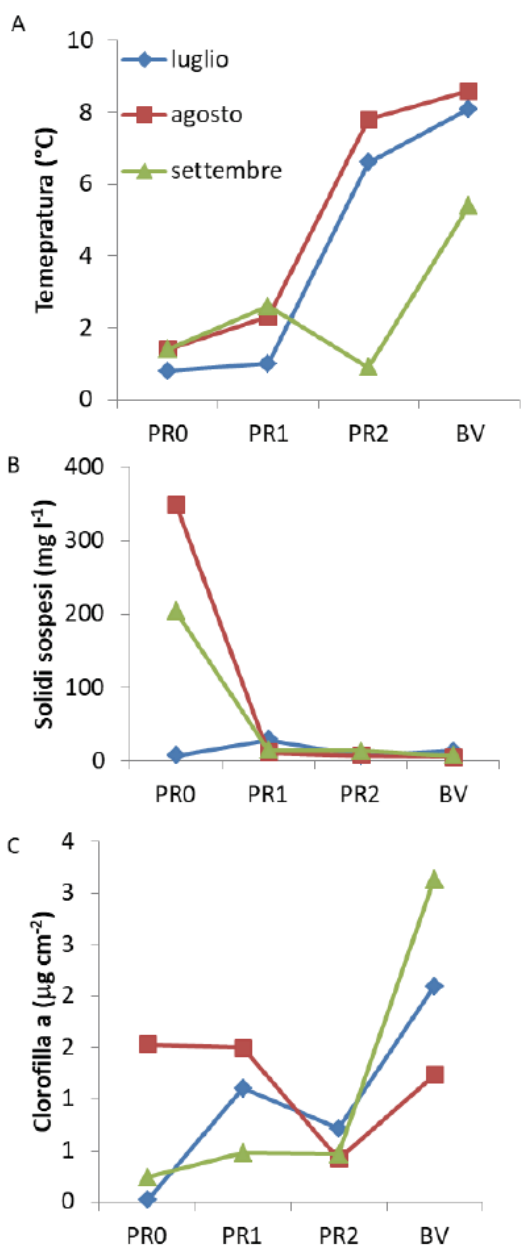


Fig. 3 - Andamento longitudinale e stagionale della temperatura dell'acqua a inizio campionamento (A), dei solidi sospesi (B) e della clorofilla a (C) nei siti indagati (luglio, agosto e settembre 2015). / Longitudinal and temporal trend of water temperature at the sampling time (A), suspended solids (B) and chlorophyll a (C) in the July, August and September 2015.

dell'acqua ($r = 0,77$, $p = 0,003$), la conducibilità ($r = 0,90$, $p < 0,001$), i nutrienti ($N-NO_3$) ($r = 0,73$, $p = 0,007$), la silice ($r = 0,79$, $p = 0,002$) e la produzione primaria ($r = 0,67$, $p = 0,02$) aumentano progressivamente all'aumentare della distanza dal ghiacciaio, all'aumentare del contributo non glaciale e al diminuire della quota (es. Figura 3).

Alcuni parametri hanno mostrato una forte stagionalità, in particolare alla fronte del ghiacciaio, dove i solidi sospesi e la clorofilla a hanno raggiunto il loro valore massimo in piena estate (agosto), in corrispondenza del picco di fusione glaciale. In PRO il valore di clorofilla a registrato in estate è dovuto alla presenza in alveo di distesi tappeti della crisofita *Hydrurus foetidus* (Lencioni et al. 2007). Anche il fosforo totale ha valori mediamente più elevati in PRO, come atteso, associabile alla "farina di roccia" che finisce nel torrente durante il

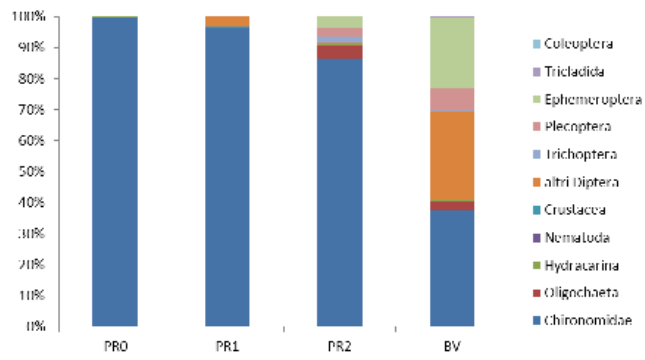


Fig. 4 - Ripartizione percentuale dei taxa che compongono la comunità dei macroinvertebrati acquatici nelle 4 siti (luglio, agosto e settembre 2015). / Relative composition of the macroinvertebrate community in July, August and September 2015.

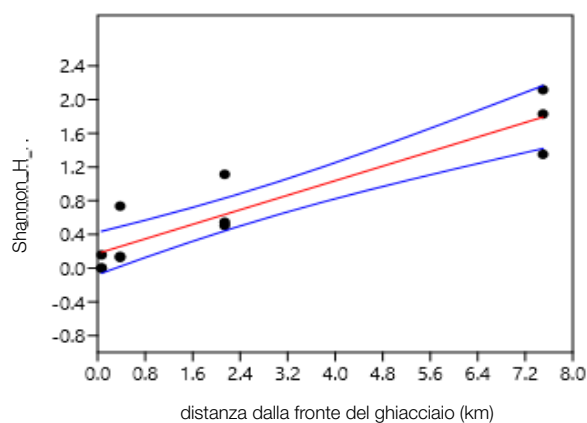


Fig. 5 - Analisi di regressione lineare tra diversità di Shannon ($r = 0,920$, $p < 0,001$) (linea blu = intervalli di confidenza 95%; $r = 0,92$, $p = 0,0001$). / Regression Analysis between Shannon diversity ($r = 0,920$, $p < 0,001$) (blue line = 95% confidence intervals; $r = 0,92$, $p = 0,0001$).

processo di fusione del ghiacciaio. Anche il tasso di decomposizione (k) aumenta da monte verso valle, come atteso, essendo più basso a temperature basse e laddove la comunità microbica e di invertebrati è meno strutturata e diversificata (Leroy & Marks, 2006), così come la quantità di sostanza organica da degradare (BPOM), che aumenta tra PR1 e PR2: è al di sotto la linea degli alberi che il BPOM aumenta, perché aumentano gli apporti alloctoni.

In accordo con la letteratura (es. Füreder 1999; Lencioni 2018), è possibile concludere che il sito PRO appartiene alla tipologia "metakryal" (T media estiva < 2 °C), PR1 alla tipologia "hypokryal" (T media estiva < 4 °C; Figura 2), PR2 alla tipologia "glacio-rhithral" (T media estiva 5 °C) e infine BV ha le caratteristiche di un torrente montano con origine mista ("rhithral").

La comunità zoobentonica

Sono stati raccolti (con retino immanicato e da drift) e smistati 24.276 esemplari di cui 942 taxa terrestri (10%) ed esuvie larvali e pupali di Chironomidi (90%), esclusi dall'analisi. Nello specifico sono stati rivenuti: da 57 a 6.994 individui m^{-2} nella stazione PRO, da 926 a 15.879 individui m^{-2} nella stazione PR1, da 16.200 a 54.594 individui m^{-2} nella stazione PR2 e da 27.316 a 233.629 individui m^{-2} nella stazione BV.

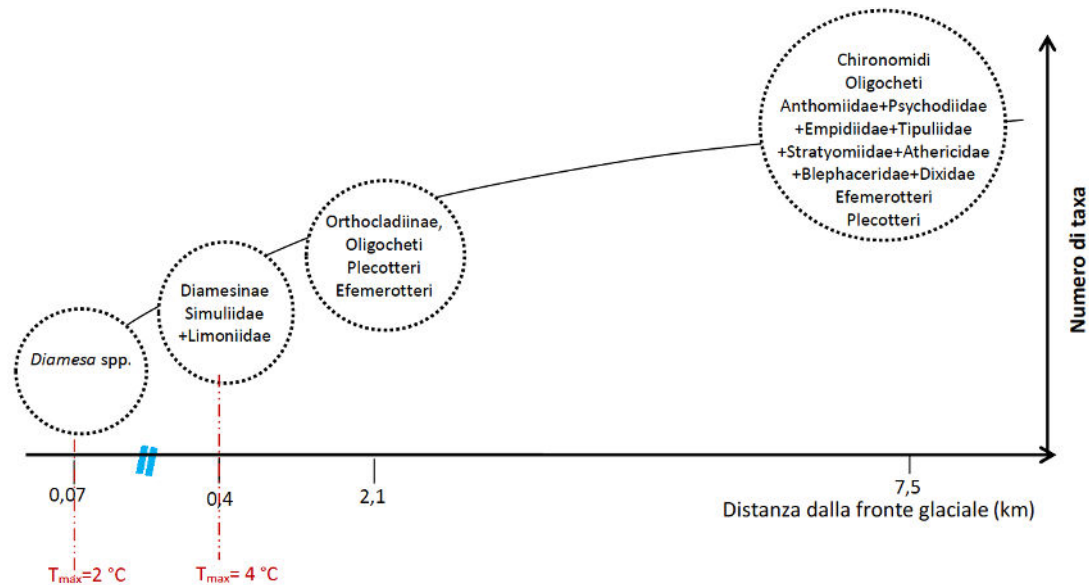


Fig. 6 - Modello di Milner e Petts (1994) rivisto per Rio Presena e T. Vermigliana. Le barrette azzurre sulle ascisse indicano la presenza di un bacino artificiale di sedimentazione tra PR0 e PR1. Tmax= temperatura massima dell'acqua (°C). / Milner & Pett's model (1994) revised for Presena and Vermigliana streams. Light blue bars on the x-axis indicate the presence of an artificial sedimentation basin between PR0 and PR1. Tmax= maximum water temperature (°C).

Complessivamente, nel Rio Presena, il taxon dominante è quello degli Insetti (96,5%), mentre Oligocheti, Idracari, Tricladi, Nematodi, Crostacei e Gasteropodi costituiscono il restante 3,5%. Tra gli insetti sono i Ditteri (76%) l'ordine più abbondante, e tra essi prevale in tutti i siti la famiglia Chironomidi (72%).

La variabilità riscontrata tra i quattro siti nei mesi di luglio, agosto e settembre, è confermata significativamente a livello statistico sia in termini di abbondanza (ANOVA, $p < 0,001$) che in termini di diversità (ANOVA, $p < 0,001$). In particolare, andando a trascurare la mensilità dei dati, si ha una varianza complessivamente statisticamente significativa tra i siti (ANOVA, $p = 0,001$), che si manifesta distintamente tra PR1 e PR2 (Mann-Whitney U test, $p < 0,001$) e tra PR2 e BV (Mann-Whitney U test, $p = 0,03$).

Alla fronte del ghiacciaio, nel tratto di metakryal (PRO), la comunità risulta dominata dai Chironomidi (99,5 %, tutti appartenenti al genere *Diamesa*) (Figura 3), in associazione ad una percentuale trascurabile di Oligocheti e Idracari. Abbassandosi di quota lungo il tratto di hypokryal (PR1), i Chironomidi, con il genere *Diamesa*, rimangono ancora il taxon nettamente più abbondante (96%), a cui si aggiungono altri Ditteri (Simuliidae e Limoniidae, 3%); in PR1 sono stati anche trovati alcuni Nematodi, Crostacei e Oligocheti. Nella comunità bentonica della stazione glacio-rithrale PR2 si trovano altri ordini di Insetti (Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri) e la comparsa di altre famiglie di Ditteri (Anthomyiidae, Psychodidae, Empididae, Tipulidae e Stratiomyidae: 0,7%) dominati sempre dalla famiglia dei Chironomidi (86%). Gli Efemerotteri (3,8%) sono presenti come Baetidae, *Baetis* sp. e *Rhithrogena* sp.; i Plecotteri (2,9%) come *Siphonoperla* sp., Leuctridae, Nemouridae, *Nemoura* sp., *Nemoura mortoni*, *Protoneura* sp., *Dictyogenus* sp., Teniopterigidae; i Tricotteri (1,5%) come Limnephilidae e *Rhyachophila* sp.. Infine, nella stazione rithrale BV, si aggiungono gli Athericidae, i Blephariceridae e i Dixidae tra i Ditteri; *Ecdyonurus* sp. tra gli Efemerotteri; *Leuctra* sp., Perlodidae e *Isoperla* sp. tra i Plecotteri; alcuni Coleotteri e i Gasteropodi. La presenza relativa dei Chironomidi scende a circa 1/3 (=37,6%), mentre aumenta la presenza numerica di altri Ditteri (28,7%), Efemerotteri (23%), Plecotteri (6,8%), Tricotteri (0,5%) e Oligocheti (2,8%) (Figura 4).

Come atteso (Lencioni 2018), ricchezza di specie e diversità sono risultate aumentare significativamente da monte verso valle (Tabella 4, Figura 5: $r = 0,92$, $p < 0,001$). È stata riscontrata una correlazione statisticamente significativa tra diversità (es. Shannon-Wie-

ner) e temperatura dell'acqua ($r = 0,97$, $p = 0,03$), conducibilità ($r = 0,99$, $p = 0,003$), e alcalinità ($r = 0,97$, $p = 0,03$). Ricchezza di specie e diversità aumentano nel tempo solo nei siti alle quote più basse (PR2 e BV).

Nonostante il Rio Presena sia un torrente alimentato da un piccolo ghiacciaio (< 1 km²) e sia interrotto da un bacino artificiale, l'andamento longitudinale della struttura della comunità macrobentonica ricalca quella proposta da Milner & Petts (1994), come mostra la Figura 6 in cui sono stati elencati i taxa con abbondanza relativa $> 2\%$. Nel caso del Rio Presena è la temperatura dell'acqua a guidare i cambiamenti nella comunità più che la stabilità dell'alveo, poiché i valori dell'indice Pfrankuch hanno evidenziato una stabilità discreta ovunque, non in crescita come atteso da monte verso valle.

Si è osservata infine una certa stagionalità, con Ditteri-non Chironomidi ed Efemerotteri generalmente più abbondanti a inizio estate e Plecotteri più abbondanti a fine estate, come atteso (Lencioni et al. 2001).

In Tabella 5 sono riportati i valori degli indici I.B.E e STAR_ICMi, secondo cui i siti al di sopra dei 2200 m di quota sarebbero in stato ecologico pessimo e di scarsa qualità (PRO e PR1) o comunque non elevato, dimostrando la non applicabilità di tali indici alle acque d'alta quota (specialmente se di origine glaciale) in condizioni naturali e integre. Non si notano variazioni legate alla mensilità, ad eccezione dell'indice STAR_ICMi calcolato per la stazione PR2.

Il limite superiore di applicabilità dell'indice IBE coincide infatti con il limite della vegetazione arborea, collocato a 1800-2000 m s.l.m. (Ghetti 1997). Al di sopra di tale linea si assiste ad una progressiva riduzione della diversità biologica dovuta all'asprezza e alla rigidità di questi habitat, non al deterioramento della qualità ambientale e biologica del corso d'acqua. La diminuzione della qualità ecologica è quindi legata all'altitudine e all'origine glaciale del torrente, non all'alterazione della naturalità ambientale (Maiolini & Lencioni 2002; Lencioni et al. 2001; Lencioni et al. 2002). Quindi, la ridotta abbondanza e diversità di taxa che caratterizza le comunità altamente specializzate dei torrenti d'alta quota, non denotano la scarsa qualità che indicherebbero nel fondovalle, ma al contrario, elevata naturalità e qualità. Lo stesso ragionamento è valido per i valori STAR_ICMi ottenuti.

In conclusione, ad oggi, la riduzione e lo sfruttamento del ghiacciaio dovuto al cambiamento climatico globale, non sta determinan-

do un cambiamento nella struttura della comunità di macroinvertebrati che mantiene, entro i primi 2 km di distanza dal ghiacciaio, le caratteristiche tipiche di un torrente glaciale.

Ringraziamenti

Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto RACE-TN (Valutazione del rischio ambientale dei contaminanti emergenti nei fiumi trentini: effetti sulla vita selvatica e sull'uomo) (2015-2017), co-finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Trento e Rovereto (Rif. Int.: 2015.0199; 2015-2018). Si ringraziano il Laboratorio accreditato dell'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA-TN, Resp. Massimo Paolazzi), per aver eseguito le analisi chimiche delle acque e Meteotrentino (Alberto Trenti ed Efsio Siddi) per aver fornito dati idrologici relativi all'opera di presa a monte della PR1.

Parte dei risultati discussi in questo lavoro sono inseriti nella tesi di laurea triennale in Scienze Naturali del primo autore (FB).

Bibliografia

- AAVV, 2007 - Notiziario dei metodi analitici. Macroinvertebrati acquatici e Direttiva 2000/60/EC (WFD). CNR-IRSA, Roma, 114 pp.
- Beniston M., 2013 - Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change*, 59: 5–31.
- Bombarda R., 1996 - Il cuore bianco, Guida ai ghiacciai del Trentino. Arca, Trento, 172 pp.
- Boscaini A., Corradini F., Lencioni V. & Maiolini B., 2004 - Caratterizzazione morfologica e chimico-fisica di un sistema idrografico alpino (Parco Nazionale dello Stelvio, Trentino). *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica*, 80(2003): 43–49.
- Brittain J.E. & Milner A.M., 2001 - Ecology of glacier-fed rivers: Current status and concepts. *Freshwater Biology*, 46(12): 1571–1578.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A. & Ruffo S., 1999 - Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Provincia Autonoma di Trento, vol. 2: 358–484.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A. & Ruffo S., 1994 - Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Provincia Autonoma di Trento, vol. 1: 1–357.
- Casarotto C. & Bertoni E., 2015 - Estensione dei ghiacciai trentini dalla fine della piccola era glaciale a oggi: rilevamento sul terreno, digitalizzazione GIS e analisi. MUSE-Museo delle Scienze Ed, Trento (Italy), 54 pp.
- Cauvy-Fraunié S., Espinosa R., Andino P., Jacobsen D. & Dangles O., 2015 - Invertebrate Metacommunity Structure and Dynamics in an Andean Glacial Stream Network Facing Climate Change. *PLoS ONE* 10(8): e0136793.
- Diolaiuti G., Bocchiola D., Vagliasindi M., D'Agata C., Smiraglia C., 2012 - Evidence of climate change impact upon glaciers' recession within the Italian Alps: the case of Lombardy glaciers. *Theoretical and Applied Climatology*, 109: 429–445.
- Füreder L., 1999 - High alpine streams: cold habitats for insect larvae. In: Margesin R. and Schinner F. *Cold adapted organisms - Ecology, physiology, enzymology and molecular biology*, Springer, Berlin: 181–196.
- Ghetti P.F., 1997 - Manuale di applicazione Indice Biotico Esteso (I.B.E.), Provincia Autonoma di Trento, Trento, 222 pp.
- Hammer Ø., Harper, D.A.T., and Ryan, P.D. (2001), 'PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis', *Palaeontologia Electronica*, 4: 1–9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hongve D., 1987 - A revised procedure for discharge measurement by means of the salt dilution method. *Hydrological processes*, 1: 267–270.
- Huss M., 2012 - Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: the European Alps 1900–2100. *Cryosphere*, 6: 713–727.
- IRSA-CNR, 2003. *Metodi Analitici per le Acque. Indicatori biologici*. 9010. *Indice biotico esteso (I.B.E.)*. APAT Manuali e Linee guida 29/2003 (vol.3): 1115–1136.
- ISPRA, 2014 - Protocollo di campionamento dei macroinvertebrati bentonici dei corsi d'acqua guadabili. *Metodi biologici per le acque superficiali interne*. Parte 1. Manuali e Linee Guida ISPRA, 111/2014, 234 pp.
- Jacobsen D., Milner A.M., Brown L.E. & Dangles O., 2012 - Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change*, 2: 361–364.
- Lencioni V. & Rossaro B., 2005 - Microdistribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in Alpine streams: an autoecological perspective. *Hydrobiologia*, 533 (1): 61–76.
- Lencioni V., 2004 - Survival strategies of freshwater insects in cold environments. *Journal of limnology*, 63: 45–55.
- Lencioni V., 2018 - Glacial influence and macroinvertebrate biodiversity under climate change: lesson from the Southern Alps. *Science of the Total Environment*, 622–623: 563–575.
- Lencioni V., Boscaini A., Franceschini A. & Maiolini B., 2001 - Distribuzione di macroinvertebrati bentonici in torrenti d'alta quota sulle alpi italiane: stato delle conoscenze e recenti risultati. In: *Atti dell'XI Congresso della Società Italiana di Ecologia (S.It.E.)*, At Sabaudia (Latina), Volume: *S.It.E. Atti*, 25: paper N. 42.
- Lencioni V., Maiolini B. & Margoni S., 2002 - Il limite altitudinale di applicazione degli Indici IBE (Indice Biotico Esteso) e I.F.F. (Indice di Funzionalità Fluviale) in due sistemi fluviali Alpini (Amola e Cornisello, Trentino). *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica*, 78/1(2001): 81–90.
- Lencioni V., Rossaro B. & Maiolini B., 2007 - Alpine chironomid distribution: a mere question of altitude? *Contributions to the Systematics and Ecology of Aquatic Diptera - A Tribute to Ole A. Sæther*. The Caddis ress, Ohio USA, Ed. Andersen T.: 165–180.
- Leroy C.J. & Marks J.C., 2006 - Litter quality, stream characteristics and litter diversity influence decomposition rates and macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 51: 605–617.
- Lods-Crozet B., Lencioni V., Olafsson J.S., Snook D.L., Velle G., Brittain J.E., Castella E. & Rossaro B., 2001 - Chironomid (Diptera: Chironomidae) succession in six European glacial streams. *Freshwater Biology*, 46: 1791–1809.
- 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., 2002 - La fauna ad invertebrati. In: Minelli A., Ruffo S. e Stoch F. (a cura di) *Torrenti montani - La vita nelle acque correnti*. Quaderni Habitat - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e Museo Friuliano di Storia Naturale, Udine, 5: 57–79.
- Milner A.M. & Petts G.E., 1994 - Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshwater Biology*, 32: 295–307.
- Milner A.M., Khamis K., Battin T.J., Brittain J.E., Barrand N.E., Fuereeder L., Cauvy-Fraunié S., Gislason G.M., Jacobsen D., Hannah D.M., Hodson A.J., Hood E., Lencioni V., Olafsson J.S., Robinson C.T., Tranter M., Brown L.E., 2017 - Glacier shrinkage driving global changes in downstream systems. *PNAS - Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114: 9770–9778.
- Petersen R.C & Cummins K.W., 1974 - Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 4: 343–368.
- Pfankuch D.J., 1975 - Stream Reach Inventory and Channel Stability Evaluation. U.S.D.A. Forest service, Northern Region, Intermountain Forest and range Experiment Station, Ogden UT 84401, U.S.A., 26 pp.
- Rossaro B., Montagna M. & Lencioni V., 2016 - Environmental traits affect chironomid communities in glacial areas of the Southern Alps: evidence from a long-lasting case study. *Insect Conservation and Diversity*, 9: 192–201.

- Sansoni G., 1988 - Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani. Provincia Autonoma di Trento, 191 pp.
- Senese A., Smiraglia C. & Diolaiuti G.A., 2014 - Studi pilota per l'utilizzo dei geotessili non-tessuti per la riduzione della fusione della neve e del ghiaccio. Risultati dal ghiacciaio del Presena Occidentale (Trento). Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio", Università degli Studi di Milano, 8 pp.
- Sertić Perić M. & Robinson C.T., 2015 - Spatio-temporal shifts of macroinvertebrate drift and benthos in headwaters of a retreating glacier. *Hydrobiologia*, 751(1): 25–41.
- Smiraglia C. & Diolaiuti G. (a cura di), 2015 - Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Ev-K2-CNR Ed., Bergamo, 400 pp.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P., 2010 - Invertébrés d'eau douce - Systématique, biologie, écologie. CNRS Editions, Paris, 608 pp.
- Ward J.V., 1994 - Ecology of Alpine streams. *Freshwater Biology*, 32: 277–294.
- Waringer J. & Graf W., 2011 - Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven/Atlas of Central European Trichoptera Larvae. Erik Mauch Verlag Dinkelscherben, 468 pp.
- Zemp M., Haeberli W., Hoelzle M., Paul F., 2006 - Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters*, 33, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.

