

Il valore aggiunto della limnologia comparata: un confronto tra laghi delle Terre Alte

Andrea Lami, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, CNR-ISE, Largo Tonolli 50, 28922 Verbania

Monica Tolotti, Istituto Agrario S. Michele all'Adige - Centro Ricerca e Innovazione, Fondazione Edmund Mach, Via Mach 1, 38010 S. Michele all'Adige

Riassunto

Assodato che il cambiamento climatico è in corso, molte sono ancora le incertezze sulla conseguente risposta da parte degli ecosistemi, in particolare di quelli acquatici. Come emerso sia dall'analisi delle serie storiche di dati, sia da indagini paleolimnologiche, questi ambienti, a differenza di quelli terrestri, presentano dei meccanismi di risposta più complessi, spesso non lineari, o non riconducibili ad una semplice relazione causa-effetto.

Sono qui discussi esempi o casi di studio che evidenziano come le comunità biologiche che vivono in ambienti acquatici abbiano strutture peculiari e come queste caratteristiche siano rispondano agli impatti climatici.

Per valutare in modo appropriato quale sarà l'evoluzione di questi ecosistemi nel prossimo futuro è necessario aumentare la conoscenza di questi ambienti su scala sia spaziale sia temporale, in modo da poter discriminare il contributo di fattori locali o globali, antropici o naturali. In questo contesto gli ambienti acquatici delle Terra Alte possono dare un contributo significativo alla comprensione degli impatti del clima sugli ecosistemi acquatici.

Introduzione

La comunità scientifica ha ad oggi prodotto una significativa quantità di dati e informazioni a supporto del fatto che il cambiamento climatico sia in atto. Recentemente sono stati pubblicati diversi rapporti di sintesi, il più noto dei quali è il 5° rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), il comitato dell'ONU sul clima (Core Writing Team, R.K. and L.A. Meyer, 2014). Il rapporto, che raccoglie i risultati di numerosi scienziati, ha permesso evidenziare come l'ultimo decennio (2002-2011) sia stato il più caldo registrato in Europa, con una temperatura della superficie terrestre più alta di 1,3° C rispetto alla temperatura media in epoca preindustriale (Fig. 1). Le ondate di caldo sono aumentate in termini di frequenza e lunghezza, causando decine di migliaia di morti negli ultimi decenni. Le precipitazioni stanno diminuendo nelle regioni meridionali, ma sono in aumento nell'Europa settentrionale, mentre la criosfera è in fase di progressiva riduzione specialmente nell'emisfero Nord.

Il 5° rapporto dell'IPCC evidenzia anche come i cambiamenti che stiamo osservando siano da imputarsi principalmente all'azione dell'uomo. Infatti, i cambiamenti climatici hanno sempre accompagnato l'evoluzione della Terra, ma sono stati processi lenti quando dovuti a fenomeni naturali, quali ad esempio le oscillazioni dell'asse terrestre. Cambiamenti veloci, dell'ordine di pochi anni, sono tipicamente legati ad eventi repentini e catastrofici, quali le eruzioni vulcaniche. Quello che osserviamo oggi è, contrariamente, un processo molto rapido che mette a rischio la capacità di adattamento degli esseri viventi ed è legato alle emissioni in atmosfera di gas serra. A partire dall'inizio della rivoluzione industriale (~1850), la concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica è aumentata del 40% a causa del massiccio consumo di combustibili fossili da parte delle attività produttive umane, la concentrazione del gas metano è cresciuta del 150% e la concentrazione del protossido di azoto è cresciuta del 20%. Ricostruzioni delle concentrazioni della CO₂ basate sull'analisi di carote di ghiaccio in Antartide dimostrano che valori così elevati non sono mai stati raggiunti sulla Terra negli ultimi 800 000 anni (Fig. 1B).

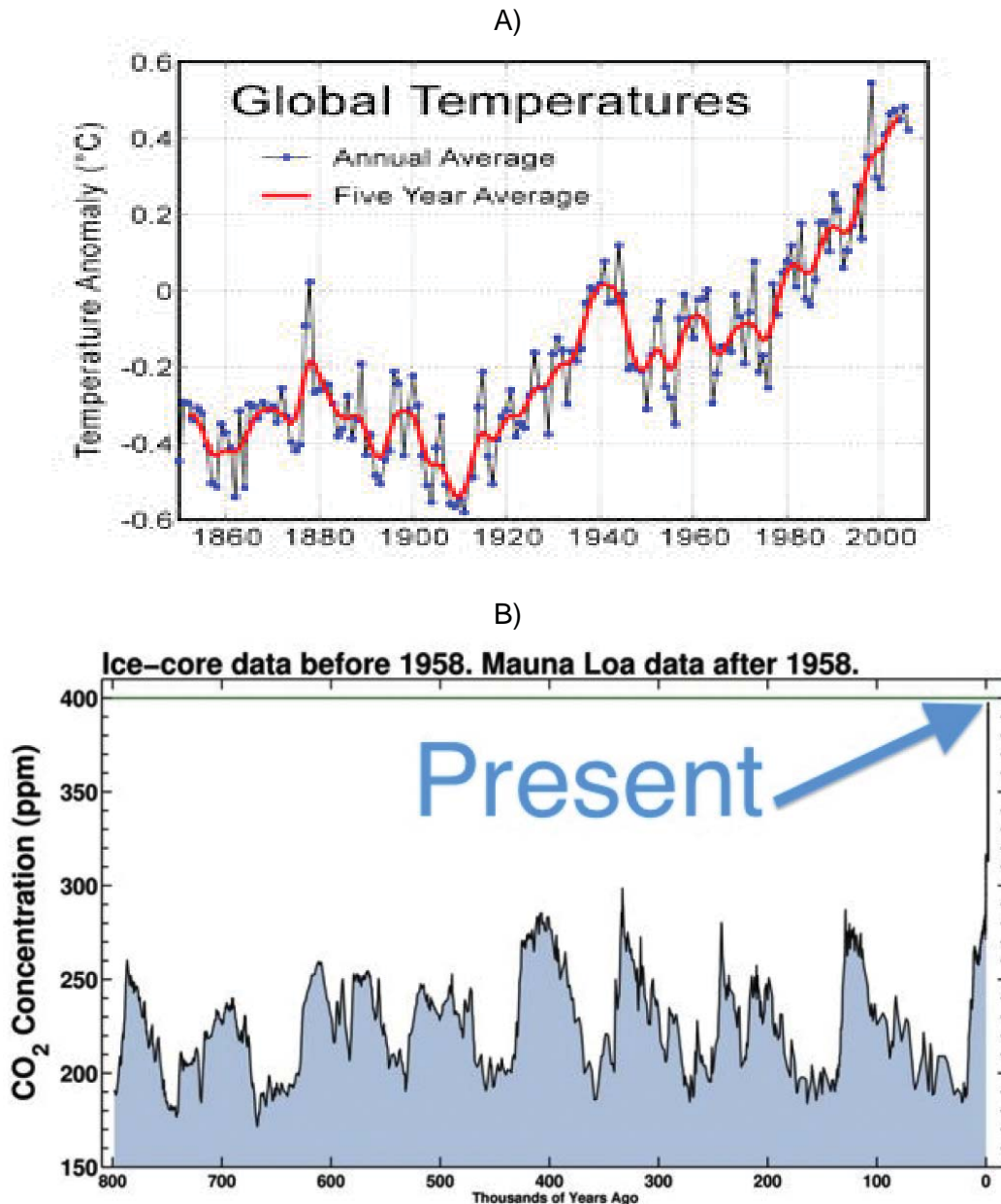


Fig. 1. A) Incremento della temperature globale (espressa come anomalie rispetto al periodo 1930-1960) documentata dalle registrazioni strumentali. B) ricostruzione delle concentrazioni atmosferiche di CO₂ negli ultimi 800 000 ottenuta dall'analisi delle bolle d'aria intrappolate in una carota di ghiaccio prelevata in Antartide. Nel corso di questo lungo periodo sono state osservate numerose oscillazioni della concentrazione di CO₂ fra i 170 e 300 parti per milione (ppm). I valori osservati a partire dal 2008 testimoniano che i valori attuali, legati alle emissioni antropiche siano i valori più elevati mai documentati nel corso degli ultimi 800 000 anni. Fonte: Scripps Institution of Oceanography.

Tuttavia, nonostante le numerose osservazioni e prove sperimentali, le incertezze legate alla comprensione dei cambiamenti climatici sono ancora molte. Infatti, se da un lato i meccanismi che guidano il clima a livello globale sono abbastanza noti, le interazioni del clima con i fattori locali quali la topografia non sono facilmente descrivibili con i modelli oggi disponibili e questo fa sì che le previsioni sull'evoluzione del clima abbiano un elevato grado di variabilità e incertezza. Altrettanto lacunosa è la comprensione dei meccanismi di risposta degli ecosistemi, segnatamente degli ambienti acquatici. Se per gli ambienti terrestri sembra esiste la capacità/possibilità di stabilire delle relazioni causa-effetto e di formulare delle previsioni riguardo ai i cambiamenti attesi nella flora e nella fauna, si è ancora lontani dal poter costruire modelli previsionali per gli ambienti acquatici

(Walther, 2010), specialmente per le acque interne, dove l'interazione con il clima si è rivelata essere più complessa e caratterizzata da un grado di risposta differente a seconda delle componenti analizzate. Infatti, i parametri climatici sembrano avere un effetto più diretto sulle caratteristiche fisiche e chimiche delle acque interne, mentre le risposte a livello di specie e comunità sono modulate da relazioni indirette (Rühland et al., 2015; Taranu et al., 2015) e dall'interazioni con fattori locali non necessariamente legati alle variazioni climatiche globali (Fig. 2).

Qui di seguito sono presentati e discussi alcuni casi di studio che illustrano da un lato la complessità degli ambienti di alta quota e, dall'altro, l'importante contributo che le attività di ricerca possono portare alla comprensione del funzionamento di questi ecosistemi e dei possibili impatti del clima su questi delicati ecosistemi. Inoltre lo studio comparato di aree diverse soggette a fattori locali differenti permette una migliore comprensione delle interazioni fra i cambiamenti climatici globali ed altri fattori di stress locali.

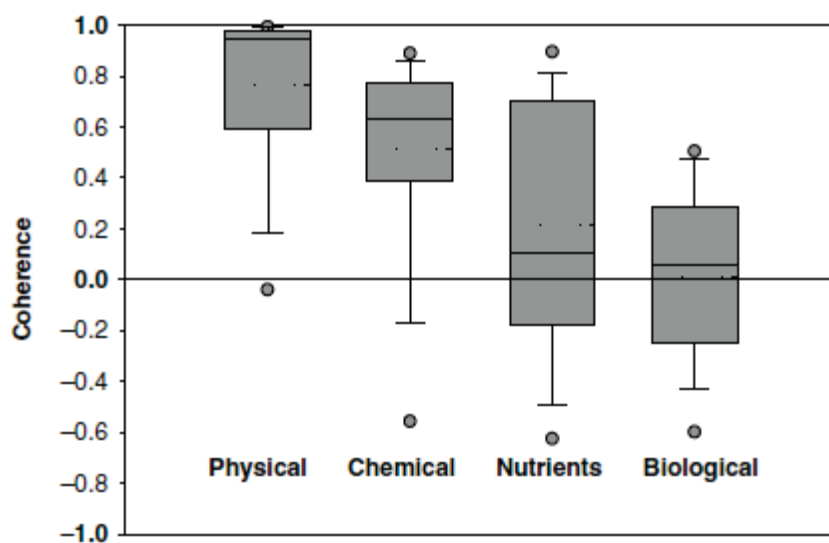


Fig. 2. Box-plot del grado di coerenza (espresso come fattore di correlazione) tra alcuni laghi alpini della regione del Salzkammergut, Austria. Fattori fisici= temperatura superficiale, attenuazione delle luce nella colonna d'acqua e disco di secchi; Fattori chimici= pH, conducibilità e ossigeno disciolto; nutrienti: fosforo e azoto totale, silice disciolta; biologici= clorofilla a e biovolume del fitoplancton. Modificato da Dokulil et al., 2010

Lo studio degli ambienti di alta quota: variabilità spaziale e temporale della risposta ai cambiamenti climatici

In questi anni stiamo assistendo ad importanti trasformazioni della criosfera legate all'impatto dei cambiamenti climatici globali, le più eclatanti delle quali riguardano la progressiva riduzione dei ghiacciai, come documentato dal Comitato Glaciologico Italiano (www.glaciologia.it). Le modificazioni in atto tuttavia non riguardano solo dimensione e distribuzione dei ghiacciai, ma anche una serie di alterazioni dell'intero ciclo idrologico che hanno come conseguenza la trasformazione anche delle risorse idriche e in particolare dei laghi di alta quota. Infatti, l'esame comparato delle immagini satellitari ha permesso di mettere in evidenza come nel corso degli ultimi 50 anni si sia verificata una risposta diversificata a seconda delle fasce altitudinali per cui anche se globalmente il numero e la superficie dei laghi non si è modificato in modo significativo, numerosi nuovi copri idrici sono comparsi alle quote più elevate (Salerno et al., 2014).

Le alterazione della criosfera e i cambiamenti idrologici conseguenza al cambiamento climatico hanno avuto un importante impatto non solo sulla quantità e distribuzione dell'acqua, ma anche sulla sua qualità sia dal punto di vista sia chimico sia biologico. Le variazioni del clima hanno determinato una maggior circolazione dell'acqua derivante dalla fusione dei ghiacciai, ma anche del permafrost alpino. Lo scioglimento di permafrost e rock glaciers ha avuto come conseguenza un generalizzato incremento di ioni disciolti tra i quali anche i metalli pesanti nei laghi alpini situati in quota (Thies et al., 2007). Osservazioni a lungo termine documentano infatti come la progressiva fusione abbia

determinato un generalizzato aumento dei soluti (Rogora et al., 2013) e importanti cambiamenti della flora e della fauna acquatica, che comprendono una forte riduzione delle specie ritrovate nei copri idrici di alta quota influenzati dalla presenza di rock glaciers (Mair et al., 2015)

Sulla base di studi condotti negli ultimi 20 anni (Battarbee et al., 2002; Boggero & Lencioni, 2006; Tolotti et al., 2006; Lami et al., 2007; Marchetto et al., 2009) dove sono stati campionati con metodologie comparabili e standardizzate numerosi laghi di alta quota, intesi come quelli posto al di sopra del limite degli alberi, sono emerse una serie di evidenze che indicano come in questi ambienti anche modeste oscillazioni delle condizioni ambientali e climatiche possano determinare delle forti variazioni nella composizione specifica delle comunità presenti in questi ambienti.

La disponibilità di dati su lunghe serie temporali ha anche documentato come questi ambienti siano caratterizzati da un'elevata variabilità inter-annuale. Pertanto, per poter comprendere se i fenomeni che si osservano siano effettivamente dei trend e non semplici oscillazioni intorno ad uno stato stazionario è necessario disporre di lunghe serie di dati omogeni fra loro. Nel panorama alpino esistono diversi casi di osservazioni prolungate nel tempo di laghi d'alta quota. Tuttavia, quando queste informazioni non sono disponibili un contributo significativo può venire dallo studio dei sedimenti dei laghi (paleolimnologia). Infatti, gli studi paleolimnologici, basati su indicatori sedimentari (proxy) geochimici o biologici, permettono di ricostruire l'evoluzione dei laghi su scale di tempo notevoli (tipicamente dai 100 ai 1000 anni) e con una risoluzione temporale elevata, integrando o estendendo quelle che sono le osservazioni sperimentali (Battarbee et al., 2002; Catalan et al., 2013). A titolo di esempio la Figura 3 riporta i risultati di uno studio paleolimnologico del Lago Paione Superiore, Val Bognanco, che ha permesso di ricostruire sia gli impatti legati ai fenomeni di acidificazione che quelli determinati dalle variazioni del clima (Guilizzoni et al., 1996).

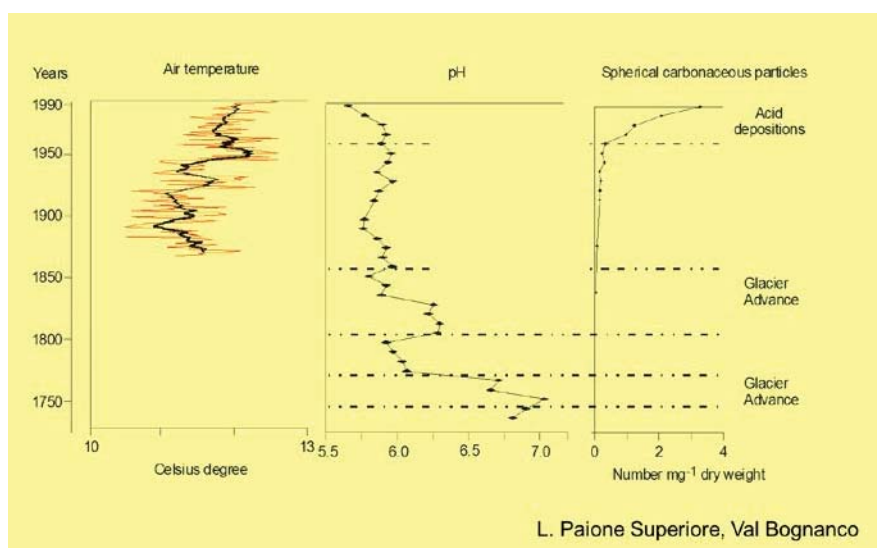


Fig. 3 Lago Paione Superiore, Val Bognanco: la ricostruzione del pH basato sui resti delle diatomee fossili documenta come il pH delle acque del lago sia cambiato in funzione degli apporti di sostanze acidificanti nel periodo 1960-1990, ma anche in funzione delle condizioni climatiche dal 1850 al 1700. Da (Guilizzoni et al., 1996)

Infine, è da sottolineare come un'ulteriore fonte di incertezza nella comprensione dell'impatto del clima sugli ecosistemi acquatici montani sia legata all'eterogeneità spaziale, che fa sì che aree diverse rispondano in modo differente allo stessa perturbazione a causa dell'interferenza di fattori locali che possano modificare la risposta dell'ecosistema. La comprensione di questa variabilità spaziale diventa quindi fondamentale per la corretta valutazione della sensibilità degli ecosistemi agli impatti del clima. Gli studi condotti nell'ambito di alcuni progetti europei e l'inserimento di alcuni siti delle Alpi nella rete italiana/europea? LTER (Long Term Ecological Research) hanno permesso di confrontare siti in località differenti e quindi di evidenziare e distinguere le alterazioni prodotte da processi globali ed effetti locali.

Conclusioni

Con queste breve, e non certo esaustiva, sintesi delle maggiori tematiche di ricerca in atto su siti di alta quota si è voluto dare una panoramica delle problematiche attuali e del contributo che queste ricerche possono portare non solo alla conoscenza di questi ecosistemi, ma anche all'individuazione di modalità di gestione che siano sostenibili anche sul piano ecologico.

Certamente, quello che qui preme sottolineare è l'importanza delle attività di ricerca in ambiente alpino, che non può dirsi conclusa in quanto ancora molti sono gli ambiti e gli aspetti che ancora necessitano di essere approfondimenti. Un secondo aspetto cruciale riguarda l'importanza di arricchire le osservazioni sia nel tempo che nello spazio, al fine di ottenere una solida base di dati validati che permetta di:

- a) valutare quali siano gli effetti dei cambiamenti che stiamo osservando;
- b) valutare la sincronicità della risposta di ambienti localizzati in aree geografiche differenti;
- c) discriminare il «peso» dei fattori locali rispetto a quelli globali nell'influenzare la risposta delle comunità biologiche.

Bibliografia

Battarbee, R. W., J. A. Grytnes, R. Thompson, P. G. Appleby, J. Catalan, A. Korhola, H. J. B. Birks, E. Heegaard, & A. Lami, 2002. Comparing palaeolimnological and instrumental evidence of climate change for remote mountain lakes over the last 200 years RID A-5420-2008 RID C-3103-2008. *Journal of Paleolimnology* 28: 161–179.

Boggero, A., & V. Lencioni, 2006. Researches on macroinvertebrates of twenty-one high altitude lakes: comparison between Pennine-Lepontine and Rhaetian Alps. *Archiv für Hydrobiologie* 165: 37–61.

Catalan, J., S. Pla-Rabés, A. P. Wolfe, J. P. Smol, K. M. Rühland, N. J. Anderson, J. Kopáček, E. Stuchlík, R. Schmidt, K. A. Koinig, L. Camarero, R. J. Flower, O. Heiri, C. Kamenik, A. Korhola, P. R. Leavitt, R. Psenner, & I. Renberg, 2013. Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: a review. *Journal of Paleolimnology* 49: 513–535.

Core Writing Team, R.K. and L.A. Meyer (ed), 2014. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Dokulil, M. T., K. Teubner, A. Jagsch, U. Nickus, R. Adrian, D. Straile, T. Jankowski, A. Herzig, & J. Padisak, 2010. The Impact of Climate Change on Lakes in Central Europe In George, G. (ed), *Impact of Climate Change on European Lakes*. : 387–409.

Guilizzoni, P., A. Marchetto, A. Lami, N. G. Cameron, P. G. Appleby, N. L. Rose, O. A. Schnell, C. A. Belis, A. Giorgis, & L. Guzzi, 1996. The environmental history of a mountain lake (Lago Paione Superiore, central Alps, Italy) for the last c.100 years: A multidisciplinary, palaeolimnological study RID C-5739-2008. *Journal of Paleolimnology* 15: 245–264.

Lami, A., G. A. Tartari, S. Musazzi, P. Guilizzoni, A. Marchetto, M. Manca, A. Boggero, A. M. Nocentini, G. Morabito, G. Tartari, L. Guzzella, R. Bertoni, & C. Callieri, 2007. High altitude Lakes: limnology and paleolimnology In Baudo, R., G. Tartari, E. Vuillermoz, & J. F. J. Shroder (eds), *Developments in earth surface processes - Mountains: witnesses of global changes*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: 153–168.

Mair, V., K. Lang, D. Tonidandel, B. Thaler, R. Alber, B. Löscher, D. Tait, U. Nickus, K. Krainer, H. Thies, M. Hirnsperger, A. Sapelza, & M. Tolotti, 2015. Progetto Permaqua: Permafrost e il suo effetto sul bilancio idrico e sull'ecologia delle acque in alta montagna. Ufficio Geologia e Prove Materiali, Provincia Autonoma di Bolzano, www.permaqua.eu.

Marchetto, A., M. Rogora, A. Boggero, S. Musazzi, A. Lami, A. F. Lotter, M. Tolotti, H. Thies, R. Psenner, J. Massaferrò, & A. Barbieri, 2009. Response of Alpine lakes to major environmental gradients, as detected through planktonic, benthic and sedimentary assemblages. *Advances in Limnology* 62: 419–440.

Rogora, M., L. Colombo, F. Lepori, A. Marchetto, S. Steingruber, & O. Tornimbeni, 2013. Thirty years of chemical changes in alpine acid-sensitive lakes in the alps. *Water, Air, and Soil Pollution* 224:

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893363155&partnerID=40&md5=9c4df2882e2a71d4d7c114eb95438712>.

Rühland, K. M., A. M. Paterson, & J. P. Smol, 2015. Lake diatom responses to warming: reviewing the evidence. *Journal of Paleolimnology* 54: 1–35.

Salerno, F., S. Gambelli, G. Viviano, S. Thakuri, N. Guyennon, C. D'Agata, G. Diolaiuti, C. Smiraglia, F. Stefani, D. Bocchiola, & G. Tartari, 2014. High alpine ponds shift upwards as average temperatures increase: A case study of the Ortles–Cevedale mountain group (Southern Alps, Italy) over the last 50 years. *Global and Planetary Change* 120: 81–91.

Taranu, Z. E., I. Gregory-Eaves, P. R. Leavitt, L. Bunting, T. Buchaca, J. Catalan, I. Domaizon, P. Guilizzoni, A. Lami, S. McGowan, H. Moorhouse, G. Morabito, F. R. Pick, M. A. Stevenson, P. L. Thompson, & R. D. Vinebrooke, 2015. Acceleration of cyanobacterial dominance in north temperate-subarctic lakes during the Anthropocene. *Ecology Letters* 18: 375–384.

Thies, H., U. Nickus, V. Mair, R. Tessadri, D. Tait, B. Thaler, & R. Psenner, 2007. Unexpected Response of High Alpine Lake Waters to Climate Warming. *Environmental Science & Technology* 41: 7424–7429.

Tolotti, M., M. Manca, N. Angeli, G. Morabito, B. Thaler, E. Rott, & E. Stuchlik, 2006. Phytoplankton and Zooplankton Associations in a Set of Alpine High Altitude Lakes: Geographic Distribution and Ecology. *Hydrobiologia* 562: 99–122.

Walther, G. R., 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2019–2024.