

# Effetti del riscaldamento climatico nel bacino del Lago di Lugano

di Fabio Lepori, Settore Limnologia, Istituto scienze della Terra, SUPSI, fabio.lepori@supsi.ch

Il riscaldamento globale è ormai un fenomeno ben noto: in sintesi, a causa dell'emissione di gas a effetto serra la temperatura del globo terrestre è aumentata di 1.2°C rispetto al periodo preindustriale. Inoltre, si prevede che questo scarto continuerà a crescere fino a superare +1.5°C entro la fine di questo secolo. In Svizzera, questo fenomeno globale si è tradotto in un aumento della temperatura media annuale di circa 2°C tra il 1864 e il 2020. Ma quali sono gli effetti di questo cambiamento sulle nostre acque? E quali quelli di un ulteriore riscaldamento? Queste sono alcune delle domande su cui il mondo della ricerca, tra cui il Settore Limnologia dell'Istituto scienze della Terra SUPSI, si sta chinando. Ora, grazie anche alla pubblicazione di alcuni studi, a cui il Settore ha collaborato o di cui si è fatto promotore, possiamo tratteggiare le prime risposte.

Gli studi del Settore si sono concentrati sul bacino del Lago di Lugano, comprendente il lago stesso, i tributari maggiori e l'emissario Tresa. Grazie alle ricerche promosse dalla Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere, le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche di questo bacino transfrontaliero sono state monitorate da ormai quasi mezzo secolo. Anche se il monitoraggio è stato concepito per tracciare l'evoluzione della qualità delle acque, i dati raccolti si stanno rilevando preziosi anche per documentare gli effetti di altre problematiche emerse nel tempo, tra le quali spicca il cambiamento climatico. Proprio grazie a questo monitoraggio, che il Settore svolge su mandato dell'Amministrazione cantonale, il bacino del Lago di Lugano offre un caso di studio privilegiato per la ricerca sugli effetti del clima.

**Il riscaldamento dei corsi d'acqua**  
Corsi d'acqua e laghi non rispondono allo stesso modo alle variazioni climatiche a causa di differenze fisiche. I corsi d'acqua sono sistemi ben mescolati (cioè non stratificati) e caratterizzati da una modesta capacità termica, mentre i laghi profondi - come il Lago di Lugano - stratificano e de-stratificano secondo un ciclo annuale. Per questo, gli effetti del riscaldamento vanno distinti in base alla tipologia di ecosistema.

Per le loro caratteristiche, i corsi d'acqua rispondono in modo forse più semplice. Infatti, tralasciando casi particolari come le risorgive o i fiumi di origine glaciale, la temperatura dei corsi d'acqua risponde in modo rapido e pressoché lineare alle variazioni della temperatura dell'aria. In altri termini, un aumento della temperatura dell'aria è solitamente accompagnato da un aumento della temperatura dei corsi d'acqua di comparabile grandezza. Questa corrispondenza è emersa

chiaramente da un nostro studio sulle temperature dei tributari del lago (Fig. 1A). Lo studio ha mostrato come, tra il 1976 e il 2012, i tributari meno urbanizzati (Magliasina e Cuccio) si siano scaldati in media di 0.4-0.6°C per decennio: un tasso che corrisponde bene a quello del riscaldamento dell'aria in Svizzera (+0.6°C al decennio in media nel periodo 1975-2014).

L'aumento di temperatura finora osservato potrebbe apparire modesto, ma è destinato a proseguire per almeno alcuni decenni, diventando via via più importante. Per esempio, sempre secondo il nostro studio, in base a scenari di emissione dei gas a effetto serra medio-elevati, la temperatura estiva media degli stessi tributari continuerebbe ad aumentare passando da 14-15°C nel decennio 1976-1986 a 20-21°C nel periodo 2070-2099, cumulando un aumento di ben 6°C. Dal punto di vista ecologico, si tratta di un cambiamento straordinariamente rapido e

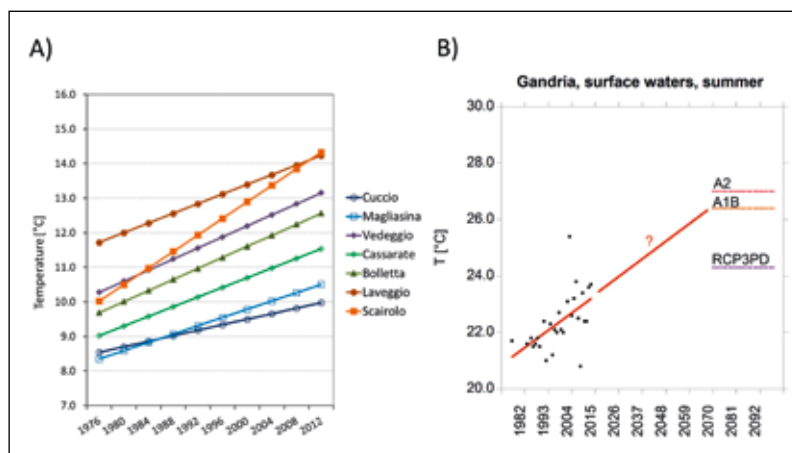


FIGURA 1. A) Evoluzione della temperatura dei tributari maggiori del Lago di Lugano tra il 1976 e il 2021. Fonte: Lepori, Pozzoni & Pera (2015). B) Evoluzione della temperatura estiva delle acque superficiali del Lago di Lugano (stazione di Gandria) tra il 1976 e il 2013 m e proiezione tra il presente (2003-2013) e la fine del 21° secolo (2081-2100) basata su tre scenari di emissione di gas a effetto serra (IPCC 2013). Gli scenari A2 e A1B prevedono un continuo aumento delle emissioni, lo scenario RCP3PD una diminuzione delle emissioni del 50% entro il 2050. Dati tratti da Lepori & Roberts (2015).

>>

ingente. Inoltre, le temperature dei corsi d'acqua con bacini fortemente urbanizzati (per esempio, Laveggio e Scairolo), a causa dell'effetto di altre fonti di riscaldamento (inclusi gli impianti di depurazione) sono cresciute e cresceranno anche maggiormente (Fig. 1A).

Le conseguenze biologiche di un riscaldamento di una simile entità saranno numerose e complesse. Per quel che riguarda i pesci e la pesca, il riscaldamento previsto potrebbe modificare la vocazione piscicola di parte dei corsi d'acqua. In passato, la tipologia di habitat e le temperature sostanzialmente fredde dei tributari del lago rendevano questi corsi d'acqua interamente idonei alla trota di ruscello *Salmo trutta*. Tuttavia, per questa specie temperature superiori ai 20°C rappresentano un fattore di stress, e temperature di poco superiori (22-25°C) un fattore di mortalità. Pare quindi probabile che, nei prossimi decenni, i tratti soggetti a maggiore riscaldamento di questi corsi d'acqua diventeranno sfavorevoli alla trota e più vocazionali per popolamenti ittici tipici di acque calde.

Inoltre, a nostro avviso le condizioni diventeranno sfavorevoli alla trota di ruscello anche prima che le acque raggiungano temperature medie estive sopra i 20°C, o anche in tratti in cui queste temperature medie non verranno raggiunte. Questo perché il riscaldamento climatico non comporterà solo un aumento graduale delle temperature medie: in aggiunta, aumenterà anche la frequenza di eventi meteorologici estremi. In particolare, si prevede che le ondate di calore e le siccità diventeranno più frequenti e intense. Quindi, le ondate di calore spingeranno più frequentemente le temperature delle acque al di là delle soglie di tolleranza della trota di ruscello anche dove i valori medi rimarranno tollerabili, soprattutto in caso di siccità. Inoltre, a causa di queste ondate, diventerà più probabile il raggiungimento di temperature estreme (> 22°C) che comporterebbero non solo stress temporaneo, ma anche rapida mortalità.

Una modifica della fauna ittica rappresenterebbe solo un tassello in un quadro di cambiamenti biologici più

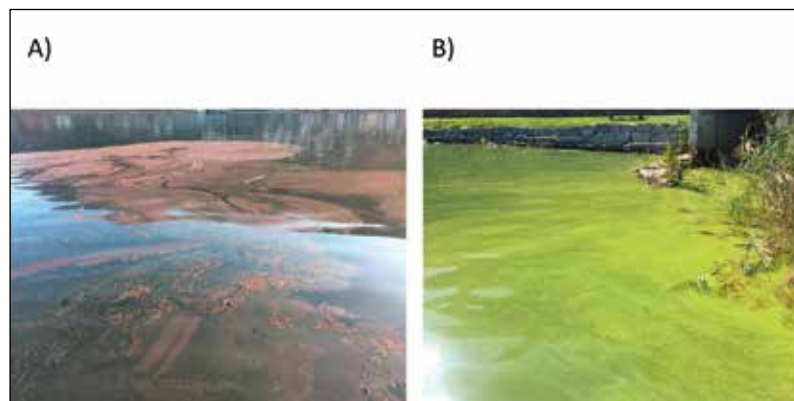


FIGURA 2. Fioriture di cianobatteri osservate nel Lago di Lugano nel 2020. A) *Planctothrix rubescens*; B) *Microcystis* sp. Foto: Camilla Capelli.

estesi, che riguarderebbero anche la fauna macroinvertebrata e le alghe bentoniche. La sostituzione di una comunità biologica con un'altra non è necessariamente un cambiamento negativo. Alle acque popolate da salmonidi, tuttavia, i pescatori attribuiscono un particolare pregio ittio-faunistico. Per esempio, secondo la Federazione svizzera di pesca la trota è il «pesce più amato e uno dei più pescati» dai pescatori svizzeri. Guardando al futuro, sarà quindi importante chiedersi quale valore viene attribuito alle comunità biologiche esistenti, e quali costi potranno essere assunti per la loro salvaguardia.

#### Il riscaldamento del lago

A causa dei maggiori volumi coinvolti e della stratificazione delle acque, nei laghi, gli effetti del riscaldamento climatico sono più complessi e coinvolgono uno spettro più ampio di aspetti fisici, chimici e biologici. Gli effetti fisici sono centrali, perché causano a cascata tutti gli altri effetti. Gli effetti fisici colpiscono tutte le fasi del ciclo termico di un lago, che nel caso del Lago di Lugano contempla una fase di mescolamento sul finire dell'inverno (detta circolazione) e una lunga fase di stratificazione tra primavera e autunno. Durante la fase di stratificazione, le acque si dividono in uno strato superficiale relativamente caldo (epilimnio) e uno strato profondo freddo (ipolimnio), separati da uno strato intermedio (metalimnio).

L'aumentare delle temperature atmosferiche ha due conseguenze principali. In primo luogo, lo stra-

to superficiale (epilimnio), che si interfaccia direttamente con l'atmosfera, diventa più caldo. Questo effetto è già ben documentato a livello globale e specificatamente per il Lago di Lugano. Per esempio, uno studio recente ha mostrato che dagli anni '70, a livello globale, la temperatura estiva superficiale dei laghi è aumentata in media di 0.4°C per decennio. Nel Lago di Lugano, il tasso di aumento delle temperature superficiali estive è stato stimato a 0.6-0.9°C per decennio, ed è quindi circa doppio rispetto alla media globale (Fig. 1B).

In secondo luogo, a causa della crescente mitezza degli inverni, le circolazioni tardo-invernali diventano più deboli, ossia gli strati profondi e superficiali tendono a mescolarsi solo parzialmente invece che completamente. È proprio questo secondo effetto che potrebbe avere maggiore influenza sull'ecologia del lago. La circolazione è un momento critico nel ciclo annuale di un lago perché riossigena le acque profonde e rifornisce di elementi nutritivi (soprattutto il fosforo) le acque superficiali, dove si sviluppano plancton e pesci. L'indebolimento della circolazione conduce quindi a carenze o assenza di ossigeno negli strati profondi, e a un ridotto apporto di fosforo in quelli superficiali.

Cosa possiamo attenderci dal punto di vista biologico? È presto per parlare di effetti sui pesci, anche se l'aumento delle temperature potrebbe a lungo andare sfavorire specie richiedenti acque fredde e ben ossigenate (salmerino, trota). Per ora gli effetti

documentati riguardano il plancton, e si tratta nel complesso di effetti non desiderabili. Per esempio, l'accresciuta temperatura delle acque e il ridotto mescolamento tra strati ha creato condizioni favorevoli allo sviluppo di alcune specie di batteri fotosintetici (cianobatteri), che possono dar luogo a fioriture potenzialmente tossiche. Queste fioriture possono arrecare danni alla salute dell'uomo e degli animali in caso di contatto o ingestione. Inoltre, possono determinare l'interdizione temporanea della balneazione e altre attività ricreative. Le considerevoli fioriture di cianobatteri osservate nel lago nel 2020 (Fig. 2), riportate anche dalla stampa, sono una chiara illustrazione di questa conseguenza. Un effetto meno appariscente, ma ugualmente importante, è che il cambiamento climatico sta contribuendo a sfavorire specie di fitoplancton edibili, ovvero facilmente consumabili dallo zooplancton erbivoro, e favorire specie scarsamente edibili (tra cui i cianobatteri). Questa modifica genera vari effetti a cascata nella rete alimentare del lago. Da un lato, il prevalere di specie inedibili può portare all'aumento della biomassa fitoplanctonica, che si traduce in acque meno trasparenti, e questo nonostante il minor apporto di nutrienti a cui si è accennato sopra. Dall'altro lato, un fitoplancton meno edibile potrebbe comportare una diminuzione dello

zooplancton e dei pesci, che quasi sempre si nutrono di zooplancton, almeno negli stadi giovanili.

Questi cambiamenti, in atto o previsti, renderanno difficile il raggiungimento degli obiettivi di qualità delle acque del lago richiesti dai quadri normativi di riferimento. Dal finire degli anni '70 sul Lago di Lugano è in corso un ambizioso programma di risanamento che cerca di migliorare la qualità delle acque, ancora colpite dal fenomeno di eutrofizzazione iniziato nel secolo scorso. Il programma, che si fonda sul miglioramento dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue, ha conseguito miglioramenti sostanziali, ma non ha ancora raggiunto gli obiettivi desiderati, che comprendono per esempio il miglioramento dell'ossigenazione delle acque e la riduzione della biomassa algale. Alcuni degli effetti del riscaldamento (minore ossigenazione delle acque profonde, maggiore frequenza di fioriture cianobatteriche) andranno a contrastare, se non a vanificare, gli sforzi di questo programma. Con il proseguire del riscaldamento, lo sforzo di gestione richiesto per perseguire gli obiettivi di qualità previsti diventerà progressivamente maggiore, e infine forse inconseguibile.

### Conclusioni

Secondo gli scenari più attendibili, la temperatura globale continuerà ad aumentare almeno fino alla fine

del 21° secolo (Fig. 1B). Nell'attesa di un'inversione di tendenza, le temperature di fiumi e laghi sono destinate a crescere, amplificando gli effetti descritti. Sarà però utile combattere gli effetti più dannosi. L'opzione strategica principale si fonderà su interventi di mitigazione, che serviranno, se non a evitare l'alterazione degli ecosistemi, perlomeno a conservarne la resilienza. Nei fiumi, dove possibile, sarebbero utili delle opere di risanamento tese ad evitare il riscaldamento eccessivo (per esempio, mediante ombreggiamento o aumento dei deflussi minimi) e facilitare l'accesso della fauna acquatica a rifugi termici (habitat freatico, tributari più freschi, tratti a monte). Nel lago, potrebbero rivelarsi vantaggiosi ulteriori sforzi per ridurre l'apporto di sostanze nutritive quali fosforo e azoto. Inoltre, potrebbe essere utile evitare proliferazioni di pesci zooplanctivori mediante un'attenta gestione ittica (sebbene l'impegno della gestione ittica per mitigare gli effetti dell'eutrofizzazione e del riscaldamento climatico presenti ancora aspetti controversi). Resta ancora da comprendere in quale misura e a quali condizioni il lago potrà essere risanato in questo contesto di cambiamenti. A queste domande il Settore cercherà di dare risposta nel prossimo futuro.

### Per approfondimenti:

Lepori F., Capelli C., & Foresti D. (2021) Changes in phytoplankton composition hinder the recovery from eutrophication in a perialpine lake (Lake Lugano, Switzerland and Italy). *Journal of Plankton Research*, in press

Lepori F. & Capelli C. (2021) Effects of phosphorus control on primary productivity and deep-water oxygenation: insights from Lake Lugano (Switzerland and Italy). *Hydrobiologia*, 848, 613-629

Pilla R. et al. (2020) Global trends in lake thermal structure: Deep waters are changing less consistently than surface waters or thermal stability. *Scientific Reports*, 10, Article number: 20514

Patelli M., Leoni B. & Lepori F. (2020) Causes of *Daphnia* midsummer decline in two deep meromictic subalpine lakes. *Freshwater Biology*, 65, 731-744

Capelli C. (2020) Fioriture di *Planctothrix rubescens* (Cyanophyceae) nel Lago di Lugano. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 108, 93-96

Lepori F. (2019) Il risanamento del Lago di Lugano: tendenze pluridecennali dei carichi e delle concentrazioni di fosforo. *Bollettino della Società ticinese di Scienze Naturali*, 107, 13-19

Lepori F., Bartosiewicz M., Simona M. & Veronesi M. (2018) Effects of winter weather and mixing regime on the restoration of a deep

perialpine lake (Lake Lugano, Switzerland and Italy). *Hydrobiologia*, 824, 229-242

Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Lepori F., Mosello R., Patelli M. & Salmaso N. (2018) Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia*, 824, 33-50

Lepori F. & Roberts J.J. (2015) Past and future warming of a deep European lake (Lake Lugano): What are the climatic drivers? *Journal of Great Lakes Research*, 41, 973-981

Lepori F., Pozzoni M. & Pera S. (2015) What Drives Warming Trends in Streams? A Case Study from the Alpine Foothills. *River Research and Applications*, 31, 663-675