

Ricerche ecologiche in laghi d’alta quota del bacino padano

**Giampaolo Rossetti^{1*}, Ireneo Ferrari¹, Aldo Marchetto²,
Cecilia Monica¹, Rosario Mosello², Michela Rogora², Pierluigi Viaroli¹**

1 Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Viale G.P. Usberti 33A - 43100 Parma

2 CNR-ISE, Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Largo Tonolli 50 - 28922 Verbania Pallanza

** Referente per la corrispondenza: giampaolo.rossetti@unipr.it*

Riassunto

La scuola limnologica italiana vanta un’importante tradizione di studi sui laghi d’alta quota del bacino padano, riconducibile in primo luogo alle ricerche a carattere sistematico compiute dalla metà del secolo scorso soprattutto presso il CNR-ISE (ex Istituto Italiano di Idrobiologia) di Pallanza nel settore alpino e presso il Dipartimento di Scienze Ambientali (ex Istituto di Ecologia) dell’Università di Parma nel versante Nord dell’Appennino Settentrionale. Parallelamente ad indagini di limnologia regionale che hanno permesso di delineare le principali caratteristiche fisiografiche, idrochimiche e biologiche di centinaia di laghi, sono state sviluppate anche linee di ricerca volte alla costituzione di serie di dati ecologici di lungo termine (ad esempio, nei laghi Paione nel comparto alpino e nei laghi Santo Parmense e Scuro Parmense in quello appenninico) per valutare le tendenze evolutive di questi ecosistemi a seguito di modificazioni indotte da attività umane. In particolare, sono stati studiati gli effetti delle deposizioni di inquinanti atmosferici, del cambiamento climatico e delle prevalenti tipologie gestionali sulle caratteristiche idrochimiche e sulla struttura dei popolamenti lacustri. La composizione relativamente semplice delle reti trofiche rispetto ai grandi laghi di pianura rappresenta inoltre una condizione particolarmente favorevole per l’analisi di processi ecologici che regolano la struttura e la dinamica delle comunità biotiche. Sono sottolineati infine l’elevato valore naturalistico e il ruolo di serbatoio di biodiversità di molti laghi d’alta quota del bacino padano.

PAROLE CHIAVE: idrochimica / ricerche ecologiche di lungo termine / gestione / biodiversità acquatica

Ecological research in high altitude lakes of the Po river basin

There is a long tradition of limnological studies in high altitude lakes of the Po river basin, in particular in Pallanza at the CNR-ISE (formerly Istituto Italiano di Idrobiologia) and at the Department of Environmental Sciences (formerly Institute of Ecology) of the Parma University, where Alpine and Northern Apennine lakes were studied since early 1950. Along with studies of regional limnology which allowed to define the main physiographic, hydrochemical, and biological characteristics of hundreds of lakes, long-term ecological research (e.g., in the Paione lakes in the Central Alps and in the lakes Santo Parmense and Scuro Parmense in the Northern Apennines) have also been conducted to evaluate the evolution of lake ecosystems in relation to human impacts. More in detail, the effects of depositions of atmospheric pollutants, climate change, and different management practices on lake water quality and community composition have been analysed. The relatively simple food web structure of high altitude lakes, compared to large lakes at lower altitudes, constitutes an opportunity for analyzing ecological processes and community structure and dynamics. It is also worth to mention the high value of many high mountain lakes for conservation of natural resources and biodiversity in the Po river basin.

KEY WORDS: hydrochemistry / long-term ecological research / management / aquatic biodiversity

INTRODUZIONE

I laghi d’alta quota del bacino padano si trovano per lo più in aree scarsamente popolate e contraddistinte da spiccata naturalità, spesso inserite in zone soggette a vincoli ambientali. Presentano in generale condizioni di accentuata oligotrofia: i bassi valori di temperatura delle acque, le modeste concentrazioni dei nutrienti (in particolare di fosforo) e la presenza di una prolungata

copertura ghiacciata agiscono infatti come fattori limitanti la produzione primaria. Qui, le reti trofiche si caratterizzano per una struttura più semplice rispetto a quella dei laghi situati a quote inferiori: i laghi di montagna sono pertanto a ragione considerati “laboratori naturali” particolarmente adatti per lo sviluppo sia di ricerche ecologiche di base che del monitoraggio degli

effetti a scala regionale delle pressioni antropiche e dei cambiamenti globali. Nella maggior parte dei casi hanno una forma regolare, una superficie limitata e una profondità che, pur non essendo elevata, è tutt'altro che trascurabile in rapporto alla superficie. Il tempo teorico di ricambio delle acque è molto breve; può essere addirittura dell'ordine di pochi giorni durante il disgelo tardo primaverile-estivo. I laghi montani sufficientemente profondi sono in genere dimittici, ovvero presentano due periodi di stratificazione: una diretta, particolarmente accentuata in estate, e l'altra inversa, sotto la copertura ghiacciata. La piena circolazione delle acque si ha all'inizio e alla fine del periodo delle acque aperte: la circolazione che segue il disgelo primaverile è generalmente di breve durata e a volte è incompleta per effetto del rapido riscaldamento delle acque superficiali; quella di fine estate prosegue, con temperature dell'acqua progressivamente più basse, fino al rigelo invernale. In numerosi distretti montani, caratterizzati da rocce poco solubili, le acque lacustri sono scarsamente mineralizzate e possiedono un ridotto potere tampone nei confronti di carichi acidi significativi, evidenziabile in particolare dai bassi valori di alcalinità totale (si veda ad esempio la tabella I): acque con alcalinità pari o inferiore a 200 $\mu\text{eq L}^{-1}$ sono infatti considerate potenzialmente suscettibili di acidificazione (HENRIKSEN, 1979).

Negli ultimi anni i laghi di montagna di aree remote sono stati utilizzati come "sensori ecosistemici" per l'analisi degli effetti sulle biocenosi e sulla biodiversità delle modificazioni indotte a scala locale o globale da attività umane: le emissioni atmosferiche che provocano acidificazione delle acque (JØRGENSEN, 1993; WA-

THNE e HANSEN, 1997; TAIT e THALER, 2000), l'intensificarsi della radiazione ultravioletta conseguente all'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico (VINEBROOKE e LEAVITT, 1999; SOMMARUGA, 2001), le dinamiche bizzarre del cambiamento climatico (HAUER *et al.*, 1997; WINDER e SCHINDLER, 2004a, 2004b; PRIMICERIO *et al.*, 2007; WAGNER e BENNDORF, 2007). I biotopi lentici montani, per la presenza di specie relitte o a distribuzione ristretta, sono di notevole interesse anche sotto il profilo biogeografico: particolarmente significativi, a questo riguardo, sono gli studi sulle comunità zooplanctoniche (DEIMLING *et al.*, 1997; LISS *et al.*, 1998; KLUG *et al.*, 2000; KNAPP *et al.*, 2001).

La maggior parte dei laghi delle Alpi è situata al di sopra dei 1500 m s.l.m., con massima frequenza tra 1800 e 2500 m; rientrano quindi propriamente nella definizione di laghi alpini, situati cioè oltre il limite della vegetazione arborea (PECHLANER, 1971). I laghi appenninici giacciono a quote sensibilmente inferiori e frequentemente al di sotto del limite altitudinale degli alberi; nonostante ciò, alcuni bacini lacustri del versante Nord dell'Appennino Settentrionale presentano caratteristiche termiche e trofiche tipiche dei laghi alpini.

In questa nota è dato particolare rilievo agli sviluppi recenti delle indagini limnologiche condotte dal CNR-ISE (ex Istituto Italiano di Idrobiologia) di Pallanza e dal Dipartimento di Scienze Ambientali (ex Istituto di Ecologia) dell'Università di Parma sui laghi d'alta quota del bacino padano; tali indagini sono focalizzate sull'individuazione delle tendenze evolutive, riscontrabili soprattutto a carico delle caratteristiche idrochimiche e della struttura dei popolamenti, in risposta a diverse tipologie di impatti.

Tab. I. Caratteristiche morfometriche ed idrochimiche di 207 laghi nelle Alpi centrali campionati nel periodo 1988-1991 (da MARCHETTO *et al.*, 1995). P25 e P75 = 25° e 75° percentile.

Variabile	Unità di misura	media	min.	P25	mediana	P75	max
Quota s.l.m.	m	2302	1186	2117	2332	2481	3001
Area lago	km ²	0,049	0,0001	0,006	0,013	0,035	1,35
Area bacino	km ²	1,15	0,01	0,20	0,50	0,98	29,39
Vegetazione	%	20	0	3	9	28	98
Rocce	%	63	0	36	74	89	98
pH		6,7	4,6	6,2	6,7	7,3	9,2
Ca ⁺⁺	$\mu\text{eq L}^{-1}$	211	15	66	120	230	2295
Mg ⁺⁺	$\mu\text{eq L}^{-1}$	44	1	12	22	43	592
Na ⁺	$\mu\text{eq L}^{-1}$	16	1	10	15	19	69
K ⁺	$\mu\text{eq L}^{-1}$	11	1	5	8	13	53
N inorganico	$\mu\text{eq L}^{-1}$	21	2	13	19	26	88
SO ₄ ⁼	$\mu\text{eq L}^{-1}$	91	1	49	68	102	410
Cl ⁻	$\mu\text{eq L}^{-1}$	6	1	4	5	7	23
Silicati	mg Si L ⁻¹	29	1	15	26	37	143
Alcalinità	$\mu\text{eq L}^{-1}$	145	-23	19	54	168	1372

Attività del CNR-ISE (ex Istituto Italiano di Idrobiologia) sui laghi alpini

A grandi linee, l'attività di studio si è concentrata soprattutto sui laghi delle Alpi centrali e si è articolata in più fasi:

1938-1951 - indagini sulle relazioni tra processi chimici e biologici del lago in relazione alle caratteristiche idrogeomorfologiche del corpo d'acqua e del bacino imbrifero;

1951-1983 - utilizzo dei laghi alpini come laboratori naturali per ricerche ecologiche e biogeografiche sulla distribuzione degli organismi acquatici;

dal 1984 in poi - analisi di fenomeni di inquinamento di impronta antropica (acidificazione, apporto di metalli e inquinanti organici) dovuti al trasporto a lunga distanza di contaminanti atmosferici e valutazione degli effetti riscontrabili nei laghi a livello idrochimico e biocenotico.

Per un riepilogo delle attività condotte nelle prime due fasi si rimanda a MARCHETTO (1998). Negli ultimi anni le ricerche sui laghi alpini sono state prevalentemente svolte nell'ambito di progetti internazionali finanziati dall'Unione Europea (Tab. II). Di seguito è riportata una sintesi dei principali risultati di queste indagini.

I bacini imbriferi dei laghi studiati sono nella maggior parte dei casi costituiti da rocce poco solubili e, quindi, molti di essi sono sensibili all'acidificazione (MOSELLO *et al.*, 1993). Le Alpi ricevono deposizioni atmosferiche moderatamente acide, facilmente neutralizzate dai rari episodi di deposizione di sabbie sahariane e dalla capacità tampone di rocce e suoli. L'acidità in atmosfera è indotta dalla presenza di acido nitrico e acido solforico (più precisamente di ioni nitrato e solfato) derivanti dalla trasformazione degli ossidi di azoto e di zolfo emessi nell'area padana da processi di combustione (industriale, termoelettrica, domestica e

legata al traffico veicolare). Le deposizioni atmosferiche in area padana e alpina sono ricche di ione ammonio di origine zootecnica che quando raggiunge gli ecosistemi terrestri e i laghi può essere ossidato producendo ulteriore acidità.

Nell'area compresa tra la Val d'Ossola (Piemonte) ed il Canton Ticino (Svizzera) diversi laghi sono risultati sensibili all'acidificazione a causa della combinazione di deposizioni relativamente acide con le caratteristiche geolitologiche di bacini imbriferi costituiti prevalentemente da rocce poco solubili (graniti e gneiss) (MARCHETTO *et al.*, 1995). Il legame tra l'acidità dei laghi e l'inquinamento industriale è stato evidenziato dall'esame dei sedimenti, che rappresentano un vero e proprio archivio storico dei fenomeni che si succedono negli ambienti limnici. L'acidificazione delle acque, per quanto modesta, tende a modificare la composizione delle comunità algali, in particolare delle diatomee che lasciano resti riconoscibili nel sedimento. Queste modificazioni si verificano contemporaneamente alla deposizione di particelle sferiche di carbone, che sono prodotte nelle combustioni industriali ad alta temperatura (GUILIZZONI *et al.*, 1996).

Per alcuni ambienti lacustri è stata studiata l'evoluzione a lungo termine delle principali variabili chimiche e negli ultimi decenni si è osservato un aumento dei valori di alcalinità e pH, ad indicare un miglioramento della qualità delle acque dovuto alla riduzione del carico acido dall'atmosfera, in particolare del carico associato ai composti dello zolfo; le concentrazioni di azoto inorganico mostrano invece un'accentuata variabilità (Fig. 1 e 2). Alla diminuzione della deposizione di solfati dall'atmosfera, che ha interessato buona parte dell'Europa, fa riscontro una maggior incidenza del nitrato come anione acidificante (MOSELLO *et al.*, 2002). L'applicazione di modelli previsionali ha dimostrato come il recupero dei laghi rispetto all'acidifica-

Tab. II. Progetti internazionali per lo studio dei laghi alpini.

Nome progetto	Periodo	Principali pubblicazioni
<i>QSALA</i> : Quantification of the Susceptibility of Alpine Lakes to Acidification	1988-1991	MOSELLO <i>et al.</i> , 1993; MARCHETTO <i>et al.</i> , 1995
<i>AL:PE</i> : Acidification of mountain Lakes, Paleolimnology and Ecology	1991-1995	JOHANNESSEN <i>et al.</i> , 1990; MOSELLO <i>et al.</i> , 1992; 1995
<i>MOLAR</i> : Measuring and modelling the response of remote mountain lakes ecosystems to environmental changes: a programme of MOUNTAIN LAKE Research	1995-1999	PATRICK <i>et al.</i> , 1998; STRAŠKRABOVÁ <i>et al.</i> , 1999; MOSELLO <i>et al.</i> , 2002
<i>EMERGE</i> : European Mountain lake Ecosystems: Regionalisation, diaGnostics & socio-economic Evaluation	2000-2003	CATALAN <i>et al.</i> , 2009; CAMARERO <i>et al.</i> , 2009; MARCHETTO <i>et al.</i> , 2004
<i>RECOVER:2010</i> : Predicting recovery in acidified freshwater by the year 2010, and beyond	2000-2003	JENKINS <i>et al.</i> , 2001; ROGORA <i>et al.</i> , 2003; ROGORA, M. 2004

zione potrà essere realizzato solo con una significativa diminuzione delle deposizioni di azoto, sia ossidato (NO_3^-) che ridotto (NH_4^+) (ROGORA, 2004). Nei Laghi Paione, oggetto di ricerca dagli anni ottanta, si sono riscontrati anche i primi segni di ripresa dal punto di

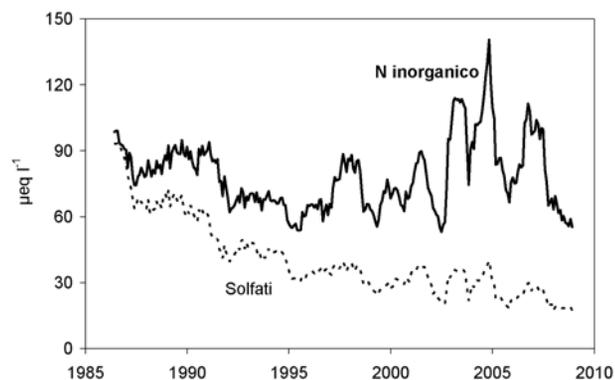


Fig. 1. Concentrazioni di azoto inorganico (linea continua) e solfati (linea tratteggiata) delle precipitazioni raccolte nella stazione di Domodossola dal 1986.

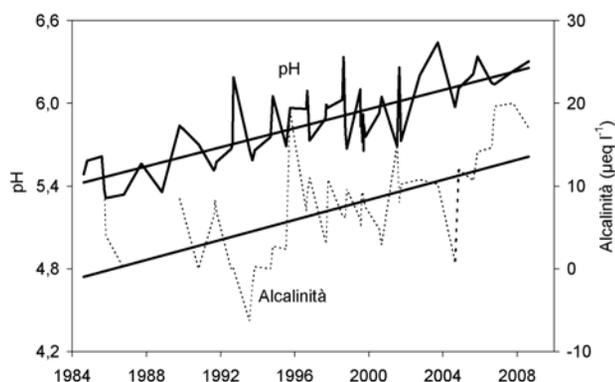


Fig. 2. Andamento dei valori di pH (linea continua) ed alcalinità (linea tratteggiata) nel Lago Paione Superiore (Val Bognanco, Alpi centrali) dal 1984 al 2008.

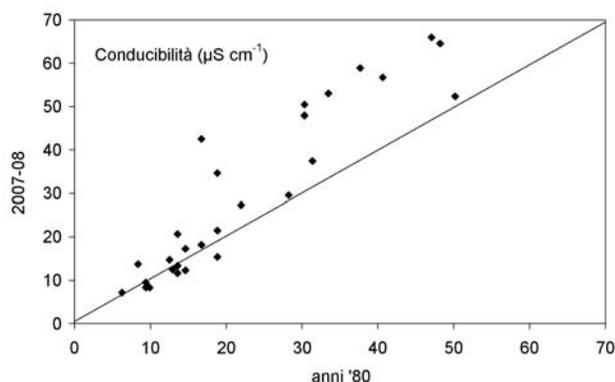


Fig. 3. Confronto tra i valori di conducibilità rilevati negli anni ottanta e nel biennio 2007-2008 in un gruppo di 32 laghi alpini nelle valli Ossola e Sesia.

vista biologico, testimoniata in particolare da variazioni nella composizione specifica delle diatomee e dalla ricomparsa di specie bentoniche particolarmente sensibili all'acidificazione (MARCHETTO *et al.*, 2004).

Nell'ambito dei progetti MOLAR ed EMERGE (Tab. II) sono state condotte misure e modellizzazioni dei flussi di inquinanti nei laghi remoti e sono stati valutati gli effetti sull'ittiofauna. A questo scopo in alcuni siti sono stati analizzati metalli pesanti, radioisotopi, inquinanti organici e particelle carboniose nelle deposizioni, nelle acque lacustri, nei sedimenti e nei tessuti di specie ittiche. I valori misurati sono simili a quelli riscontrati in ambienti fortemente influenzati dalle attività dell'uomo: queste evidenze permettono di confermare l'importanza del trasporto a lunga distanza degli inquinanti (CAMARERO *et al.*, 2009).

Un'altra linea di ricerca ha riguardato le variazioni climatiche a breve e a lungo termine e i loro effetti sui laghi. I risultati hanno dimostrato che è possibile ricavare informazioni puntuali sulla temperatura dell'aria e dell'acqua e sulla copertura ghiacciata dei laghi di montagna attraverso modelli costruiti a partire dal confronto dei dati ottenuti da stazioni meteorologiche collocate su un lago con quelli forniti da stazioni collocate a maggiore distanza, ma attive da molto tempo (THOMPSON *et al.*, 2009). Per verificare l'attendibilità delle informazioni ottenute, esse sono state confrontate con quelle fornite dallo studio dei sedimenti, che conservano informazioni preziose sull'evoluzione delle caratteristiche fisiche e chimiche e sullo stato trofico dell'ecosistema lacustre. Le variazioni climatiche sono registrate in particolare dal contenuto di sostanza organica del sedimento e dalla composizione delle comunità di diatomee e larve di chironomidi (GUILIZZONI *et al.*, 1996).

Studi recenti hanno inoltre evidenziato come le variazioni climatiche possano essere responsabili dell'aumento di conducibilità e di alcuni soluti (cationi basici, bicarbonati, solfati) osservato per alcuni laghi alpini (Fig. 3). L'aumento della temperatura e la riduzione della copertura di neve al suolo, sia come spessore che come durata, possono infatti portare ad un'intensificazione dei processi di dilavamento di rocce e suoli nei bacini e quindi ad un maggior apporto di soluti alle acque (ROGORA *et al.*, 2003)

Studi idrobiologici ed ecologici condotti dall'Università di Parma in laghi del versante Nord dell'Appennino Settentrionale

Le principali linee di ricerca sviluppate dalla metà fino agli anni novanta del secolo scorso su laghi appenninici sono state dettagliatamente descritte negli articoli di FERRARI *et al.* (1992, 1999).

Si deve a MORONI (1955, 1960) l'inizio dei primi

studi di limnologia regionale con il censimento e l'analisi di caratteristiche morfologiche, idrochimiche e biologiche di circa 300 corpi d'acqua (sia laghi permanenti che pozze temporanee) localizzati sul versante Nord del tratto appenninico compreso tra Colle di Cadibona e Bocca Seriola. Indagini successive condotte su parte di questi ambienti, dalla Val d'Aveto alla Val Lamone, tra la fine degli anni ottanta e l'inizio degli anni novanta, hanno consentito di valutare il rischio di acidificazione e i processi di eutrofizzazione in atto, evidenziando situazioni di compromissione della qualità delle acque in numerosi biotopi (VIAROLI *et al.*, 1992, 1994).

Di particolare interesse sono le indagini idrobiologiche ed ecologiche svolte nel Lago Santo Parmense nell'alta Val Parma, il più profondo (22,5 m) ed esteso (8,16 ha) tra i bacini naturali dell'Appennino Settentrionale. Il lago è una meta turistica piuttosto frequentata ed è stato oggetto, fin dall'inizio del secolo scorso, di massicce immissioni di specie ittiche per la pesca sportiva. Negli anni cinquanta, fu MORONI (1954, 1962) a intraprendere il primo ciclo di ricerche sistematiche. Tra il 1971 e il 1975 le ricerche furono indirizzate a studi di produzione primaria e secondaria e alla stima dei flussi di energia nel comparto pelagico (DI COLA *et al.*, 1978; FERRARI *et al.*, 1977). Ulteriori analisi sulle principali caratteristiche chimico-fisiche e sulla comunità zooplanctonica furono condotte agli inizi degli anni novanta (CATTADORI, 1993).

Le misure delle principali variabili di stato trofico compiute negli ultimi 60 anni mostrano persistenti condizioni di oligo-mesotrofia delle acque. È però da segnalare un trend crescente del contenuto di clorofilla-*a* fitoplanctonica tra gli anni settanta e il duemila. Di particolare interesse sono risultate anche l'evoluzione recente dello zooplancton verso una maggiore incidenza della componente a rotiferi rispetto a cladoceri e copepodi (Fig. 6) e le variazioni osservate nei rapporti di dominanza fra le specie più rappresentate: tra i cladoceri si è avuto un graduale aumento delle densità del microfiltratore *Bosmina longirostris* e la progressiva diminuzione del macrofiltratore *Daphnia longispina*. Queste osservazioni sembrano indicare una situazione di sofferenza dell'ecosistema e un indebolimento dei meccanismi di controllo interni. Altre evidenze in tal senso sono fornite da uno studio delle reti trofiche lacustri svolto con l'Ecological Network Analysis (BONDAVALLI *et al.*, 2006). In sintesi, dal confronto tra gli anni settanta e gli anni novanta, sono state evidenziate variazioni sensibili nell'efficienza dei flussi energetici e dei cicli dei materiali e una semplificazione della rete trofica lacustre. Altri cambiamenti rilevanti, osservati tra gli anni settanta e novanta e il duemila, riguardano un aumento

significativo di alcalinità e pH, probabilmente dovuto a una diminuzione dei carichi acidi di origine atmosferica.

Nel 1986 in un altro bacino della Val Parma, il Lago Scuro Parmense (profondità massima 9,3 m; superficie 1,2 ha), iniziò un ciclo di indagini mirato alla costituzione di serie di dati limnologici di lungo termine. Questo piccolo lago, tendenzialmente oligotrofo e con bassi valori di alcalinità e conducibilità delle acque (Fig. 4 e 5), venne scelto per le sue caratteristiche spiccatamente naturali, una condizione idonea per la valutazione della variabilità di base dei principali parametri idrochimici e dei fattori abiotici e biologici che condizionano la successione stagionale dei popolamenti planctonici.

Nell'estate 2003, caratterizzata da ondate di calore particolarmente lunghe e da scarsissime precipitazioni, il lago ha subito una diminuzione di volume più accentuata e persistente rispetto agli anni precedenti e nella fase delle acque aperte è stata osservata, per la prima

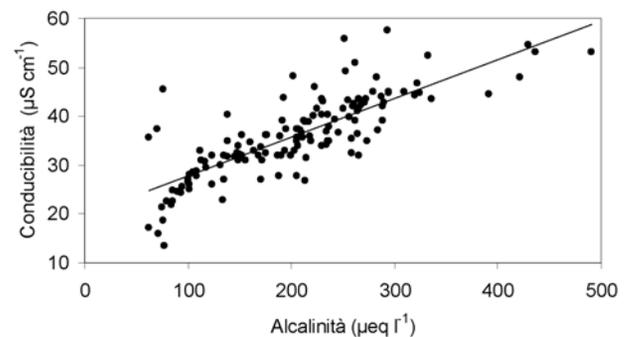


Fig. 4. Relazione tra alcalinità e conducibilità nei campioni d'acqua raccolti dal 1986 al 2008 nello strato ipolimnico del Lago Scuro Parmense (Val Parma).

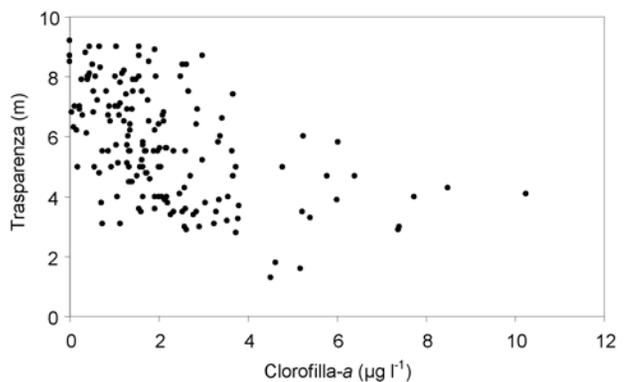


Fig. 5. Relazione tra trasparenza dell'acqua (misurata come profondità di scomparsa del disco di Secchi) e contenuto di clorofilla-*a* fitoplanctonica (valori medi calcolati sull'intera colonna d'acqua) nei campioni raccolti dal 1986 al 2008 al Lago Scuro Parmense (Val Parma).

volta dall'inizio del ciclo di ricerche, la comparsa di un esteso letto della macroalga bentonica *Nitella gracilis*. Contestualmente, sia i trend stagionali delle principali variabili fisico-chimiche delle acque che la fenologia dei popolamenti planctonici hanno mostrato marcate anomalie rispetto alla serie temporale di dati pregressi. In definitiva, si è osservato lo spostamento verso un'accresciuta importanza del comparto bentonico a scapito di quello pelagico nel controllo dei flussi di materia ed energia. I risultati delle campagne di campionamento condotte nel triennio 2007-2009, nonostante la persistenza di una copertura della macroalga variabile nei diversi anni, evidenziano la reversibilità di questo cambiamento. Non si può escludere che fenomeni analoghi possano interessare l'evoluzione di altri piccoli laghi appenninici a causa di eventi estremi indotti dai cambiamenti meteo-climatici, quali il riscaldamento atmosferico e delle acque e le variazioni di intensità e frequenza delle deposizioni umide.

Nel 2007 il sito "Ambienti lentici del versante nord dell'Appennino tosco-emiliano" è stato inserito nella Rete Italiana di Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER Italia) con il Lago Scuro Parmense e il Lago Santo Parmense come ambienti di riferimento.

Negli ultimi anni le indagini sono state focalizzate sull'importanza relativa di fattori locali e regionali nel determinare la struttura di comunità zooplanctoniche in laghi e pozze (Tavernini *et al.*, 2009) e su aspetti ecologici e biogeografici di specie di invertebrati acquatici endemici o a distribuzione limitata (Mura e Rossetti, 2002; Tavernini *et al.*, 2005; Bertani *et al.*, 2009).

Un ulteriore ciclo di ricerche ha riguardato l'evoluzione recente delle caratteristiche idrochimiche e delle comunità zooplanctoniche di laghi dell'Appennino Parmense per la maggior parte inclusi in aree protette (Rossetti *et al.*, 2008). Si osserva una forte influenza della litologia prevalente sul chimismo delle acque lacustri; la maggior parte dei bacini studiati insiste su arenarie ed ha acque debolmente tamponate e quindi potenzialmente esposte al rischio di acidificazione. Gli impatti più rilevanti derivano però dalle immissioni di fauna ittica in bacini che ne sono naturalmente privi, con conseguente aumento del carico organico ed effetti a cascata sulla struttura e sul funzionamento delle reti trofiche; a tali processi è ascrivibile la condizione di elevata trofia registrata, ad esempio, nei Laghi Gemini in Val Parma. Un altro significativo fattore di impatto è costituito dalla costruzione di sbarramenti per lo sfruttamento a scopo idroelettrico che in alcuni laghi, come lo Squincio e il Verdaro in Val d'Enza, ha comportato un accelerato colmamento delle cuvette lacustri. A fronte di tali situazioni di

degrado persistono condizioni di naturalità e pregio ambientale, soprattutto nei laghi situati alle quote più alte, più difficilmente accessibili e pertanto meno soggetti alla pressione del turismo di massa.

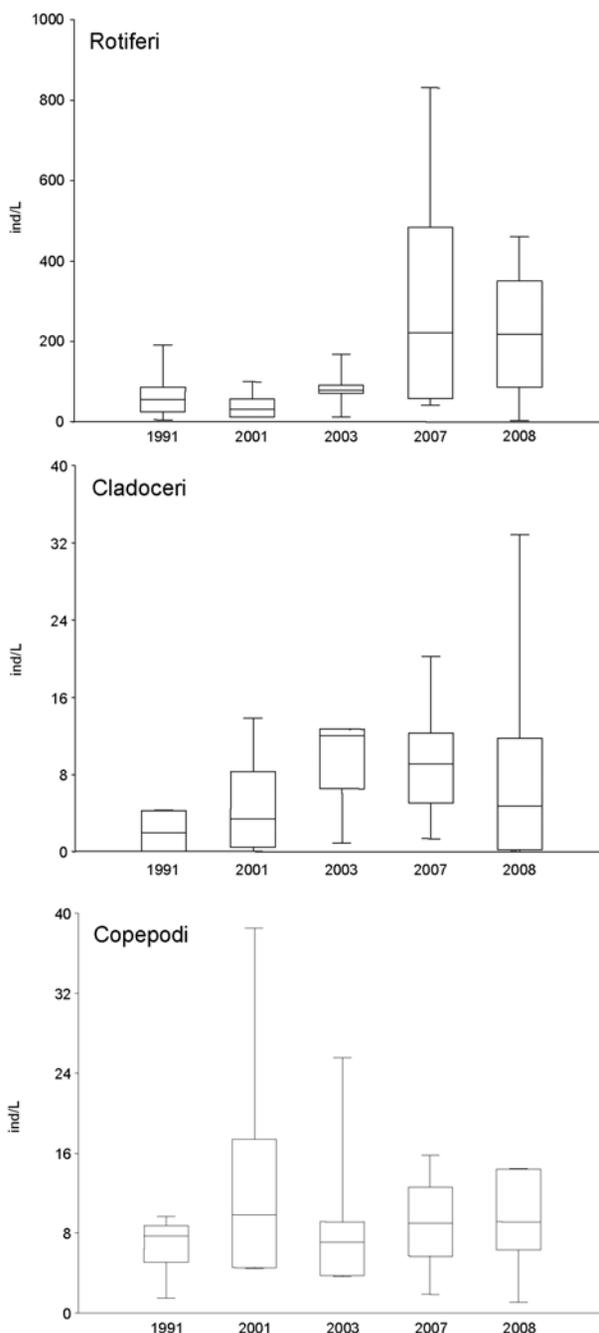


Fig. 6. Variazioni osservate dal 1991 al 2008 nelle densità dei principali gruppi zooplanctonici del Lago Santo Parmense (Val Parma) durante la stagione delle acque aperte. In ogni box-plot è mostrata la mediana (linea orizzontale all'interno della "scatola"), la distanza tra terzo e primo quartile (altezza della "scatola") e l'intervallo di variazione delle densità (lunghezza dei "baffi").

CONCLUSIONI

Le ricerche hanno evidenziato una notevole fragilità degli ambienti limnici d'alta quota nei confronti di impatti, in particolare la deposizione di inquinanti atmosferici e i cambiamenti climatici in atto, che si verificano a diverse scale spazio-temporali. Come risposta alla riduzione di carichi acidi di origine atmosferica, i laghi dell'arco alpino maggiormente sensibili all'acidificazione hanno mostrato segnali di recupero a partire dagli anni novanta del secolo scorso. Questa tendenza è destinata ad attivare processi di recupero biologico, favorendo la ricolonizzazione di specie sensibili a fenomeni di acidificazione.

Nel comparto appenninico sono riportati numerosi casi di progressivo interrimento e di marcato aumento dello stato trofico a carico di diversi bacini, soprattutto quelli più facilmente accessibili e soggetti a pratiche

gestionali non compatibili con esigenze di tutela e conservazione.

Dai risultati delle indagini emerge chiaramente che solo la costituzione di serie di dati ecologici di lungo termine può fornire basi conoscitive su cui programmare e attuare interventi di conservazione e gestione dei laghi con riferimento alle dinamiche di probabili scenari evolutivi. Appare anche necessario intraprendere studi su scala ecosistemica per poter cogliere segnali precoci di cambiamento, non sempre rilevabili con i metodi di indagine della limnologia classica.

Si segnala infine l'esigenza di realizzare misure di protezione efficaci per mantenere le condizioni di naturalità ed elevata biodiversità che ancora connotano numerosi bacini lacustri e per mitigare gli impatti locali che minacciano seriamente l'integrità ecologica e il funzionamento degli ambienti acquatici d'alta quota.

BIBLIOGRAFIA

- BERTANI I., SEGERS H., ROSSETTI G., 2009. Monogonont rotifers (Rotifera: Monogononta) from Northern Apennines lakes: new and rare taxa for Italy. *Studi Trentini Scienze Naturali - Acta Biologica*, **86**: 71-74.
- BONDAVALLI C., BODINI A., ROSSETTI G., ALLESINA S., 2006. Detecting stress at the whole ecosystem level. The case of a mountain lake: Lake Santo (Italy). *Ecosystems*, **9**: 768-787.
- CAMARERO L., BOTEV I., MURI G., PSENNER R., ROSE N., STUHLIK E. 2009. Trace elements in alpine and arctic lake sediments as a record of diffuse atmospheric contamination across Europe. *Freshwater Biology*, **54**: 2518-2532.
- CATALAN J., CURTIS C.J., KERNAN M., 2009. Remote European mountain lake ecosystems: regionalisation and ecological status. *Freshwater Biology*, **54**: p 2419-2432.
- CATTADORI M., 1993. *Tendenze evolutive recenti di stato trofico e struttura del plancton nel Lago Santo Parmense*. Tesi di laurea in Scienze Naturali, Università di Parma.
- DEIMLING E.A., LISS W.J., LARSON G.L., HOFFMAN R.L., LOMNICKY G.A., 1997. Rotifer abundance and distribution in the northern Cascade mountains, Washington, USA. *Archiv für Hydrobiologie*, **138**: 345-363.
- DI COLA G., FERRARI I., ASCOLINI A., 1978. Estimation of the production of *Daphnia longispina* in a mountain lake. *Bollettino di Zoologia*, **45**: 55-61.
- FERRARI I., ASCOLINI A., BELLAVERE C., 1977. Considerazioni conclusive sui risultati di ricerche pluriennali al Lago Santo Parmense. *L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia*, **13**: 433-444.
- FERRARI I., MENOZZI P., MORONI A., 1992. Research on northern Apennine lakes and aquatic systems in the Po Plain, Italy. *Memorie Istituto italiano Idrobiologia*, **57**: 273-294.
- FERRARI I., LAGALLA C., PARIS G., ROSSETTI G., ROSSI V., VIAROLI P., MORONI A., 1999. Ricerche idrobiologiche ed ecologiche sui laghi dell'Appennino Settentrionale. *Memorie Accademia Lunigiana di Scienze G. Capellini*, **67-69**: 271-285.
- GUILIZZONI P., MARCHETTO A., LAMI A., CAMERON N.G., APPELBY P.G., ROSE N.L., SCHNELL Ø.A., BELIS C.A., GIORGIS A., GUZZI L., 1996. The environmental history of a mountain lake (Lago Paione Superiore, Central Alps, Italy) for the last c. 100 years: a multidisciplinary, paleolimnological study. *Journal of Paleolimnology*, **15**: 245-264.
- HAUER F.R., BARON J.S., CAMPBELL D.H., FAUSCH K.D., HOSTETLER S.W., LEAVESLEY G.H., LEAVITT P.R., MCKNIGHT D.M., STANFORD J.A., 1997. Assessment of climate change and freshwater ecosystems of the Rocky Mountains, USA and Canada. *Hydrological Processes*, **11**: 903-924.
- HENRIKSEN, A., 1979. A simple approach for identifying and measuring acidification of freshwater. *Nature*, **278**: 542-545.
- JENKINS A., FERRIER R.C., WRIGHT R.F., 2001. Special Issue: assessment of recovery of European surface waters from acidification 1970-2000. *Hydrology and Earth System Science*, **5**: 542 pp.
- JOHANNESSEN M., MOSELLO R., BARTH H. (Eds), 1990. Acidification processes in remote Mountain lakes. *Proc. EEC Workshop, Pallanza, Italy, 20-22 June 1989, Air Pollution Research Report 20*: 216 pp.
- JØRGENSEN S.E., 1993. *Guidelines of lake management*. International Lake Environment Committee Foundation, 195 pp.
- KLUG J.L., FISCHER J.M., IVES A.R., DENNIS B., 2000. Compensatory dynamics in planktonic community responses to pH perturbations. *Ecology*, **81**: 387-398.
- KNAPP R.A., MATTHEWS K.R., SARNELLE O., 2001. Resistance and resilience of alpine lake fauna to fish introductions. *Ecological Monographs*, **71**: 401-421.
- LISS W.J., LARSON G.L., DEIMLING E.A., GANIO L.M., HOFFMAN R.L., LOMNICKY G.A., 1998. Factors influencing the distribution and abundance of diaptomid copepods in high-elevation lakes in the Pacific Northwest, USA. *Hydrobiologia*, **379**: 63-75.
- MARCHETTO A., MOSELLO R., PSENNER R., BENDETTA G., BOGGERO A., TAIT D., TARTARI G.A. 1995. Factors affecting water chemistry of alpine lakes. *Aquatic Science*, **57**: 81-89.
- MARCHETTO A., 1998. The study of high mountain lakes in the

- activity of the Istituto Italiano di Idrobiologia. *Memorie Istituto Italiano Idrobiologia*, **57**: 1-10.
- MARCHETTO A., MOSELLO R., ROGORA M., MANCA M., BOGGERO A., MORABITO G., MUSAZZI S., TARTARI G.A., NOCENTINI A.M., PUGNETTI A., BETTINETTI R., PANZANI P., ARMIRAGLIO M., CAMMARANO P., LAMI A., 2004. The chemical and biological response of two remote mountain lakes in the Southern Central Alps (Italy) to twenty years of changing physical and chemical climate. *Journal of Limnology*, **63**: 77-89.
- MORONI A. 1954. Primi risultati e metodologia delle ricerche idrobiologiche al Lago Santo Parmense. *Bollettino Zoologia*, **21**: 223-229.
- MORONI A., 1955. Ricerche idrobiologiche sui laghi dell'Appennino Parmense. *Bollettino Zoologia*, **22**: 165-180.
- MORONI A., 1960. Piano e metodi per uno studio sistematico dei laghi del versante N. dell'Appennino settentrionale. *Bollettino Pesca, Piscicoltura Idrobiologia*, **14**: 44-58.
- MORONI A., 1962. *I laghi della Val Parma*. Edizioni de "L'Ateneo Parmense", Parma, 132 pp.
- MOSELLO R., WATHNE B.M., GIUSSANI G. (Eds). 1992. Limnology on groups of remote lakes: ongoing and planned activities. *Documenta Istituto italiano Idrobiologia*, **32**: 128 pp.
- MOSELLO R., BARBIERI A., BENDETTA G., BOGGERO A., MARCHETTO A., PSENNER R., TAIT D., TARTARI G.A., 1993. Quantification of the susceptibility of alpine lakes to acidification. *Memorie Istituto Italiano Idrobiologia*, **52**: 355-386.
- MOSELLO R., LAMI A., MARCHETTO A., ROGORA M., WATHNE B., LIEN L., CATALAN J., CAMARERO L., VENTURA M., PSENNER R., KOING K., THIES H., SOMMARUGA-WÖGRATH S., NICKUS U., TAIT D., THALER B., BARBIERI A., HARRIMAN R., 2002. Trends in the water chemistry of high altitude lakes in Europe. *Water Air Soil Pollution Focus*, **2**: 75-89.
- MURA G., ROSSETTI G., 2002. On the rediscovery of *Chirocephalus ruffoi* Cottarelli & Mura, 1984 from temporary pools of the Secchia and Panaro Valleys (Tuscan-Emilian Apennines, Northern Italy). *Crustaceana*, **75**: 969-977.
- PATRICK S., BATTARBEE R.W., WATHNE B., PSENNER R., 1998. Measuring and modelling the dynamic response of remote mountain lake ecosystems to environmental change: an introduction to MOLAR project. *Proc. of the HeadWater '98 Conference, Meran/Merano, Italy, April 1998*, IAHS Publ. **248**: 403-410.
- PECHLANER R., 1971. Factors that control the production rate and biomass of phytoplankton in high-mountain lakes. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, **19**: 125-145.
- PRIMICERIO R., ROSSETTI G., AMUNDSEN P.-A., KLEMETSEN A., 2007. Impact of climate change on arctic and alpine lakes: Effects on phenology and community dynamics. In: Ørbæk J.B., Kallenborn R., Tombre I., Hegseth E.N., Falk-Petersen S., Hoel A.H. (Eds), *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 51-69.
- ROGORA M., MOSELLO R., ARISCI S., 2003. The effect of climate warming on the hydrochemistry of alpine lakes. *Water Air Soil Pollution*, **148**: 347-361;
- ROGORA M., 2004. Acidification and recovery at mountain lakes in Central Alps assessed by the MAGIC model. *Journal of Limnology*, **63**: 133-142.
- ROSSETTI G., BERTANI I., LAINI A., MAZZINI M., BOTTAZZI E., FERRARI I., 2008. Ricerche idrobiologiche ed ecologiche in ambienti acquatici della montagna parmense. In: Assessorato Ambiente e Tutela del Territorio, Provincia di Parma, *L'acqua che sarà. Costruzione del Piano di Tutela delle Acque*. Pitagora Editrice, Bologna: 139-150.
- SOMMARUGA R., 2001. The role of UV radiation in the ecology of alpine lakes. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, **62**: 35-42.
- STRAŠKRABOVÁ V., CALLIERI C., FOTT J. (Eds), 1999. Pelagic food web in mountain lakes. MOUNTAIN LAKES RESEARCH PROGRAM. *Journal of Limnology*, **58**: 146 pp.
- TAIT D., THALER B., 2000. Atmospheric deposition and lake chemistry trends at a high mountain site in the eastern Alps. *Journal of Limnology*, **59**: 61-71.
- TAVERNINI S., MURA G., ROSSETTI G., 2005. Factors influencing the seasonal phenology and composition of zooplankton communities in mountain temporary pools. *International Review Hydrobiology*, **90**: 358-375.
- TAVERNINI S., PRIMICERIO R., ROSSETTI G., 2009. Zooplankton assembly in mountain lentic waters is primarily driven by local processes. *Acta Oecologica*, **35**: 22-31.
- THOMPSON R., VENTURA M., CAMARERO L., 2009. On the climate and weather of mountain and sub-arctic lakes in Europe and their susceptibility to future climate change. *Fresh. Biol.*, **54**: 2433-2451.
- VIAROLI P., FERRARI I., MANGIA A., ROSSI V., MENOZZI P., 1992. Sensitivity to acidification of Northern Apennines lakes (Italy) in relation to watersheds characteristics and wet depositions. In R. Mosello, B.M. Wathne, G. Giussani (Eds), *Limnology on groups of remote lakes: ongoing and planned activities. Documenta Istituto italiano Idrobiologia*, **32**: 93-105.
- VIAROLI P., FERRARI I., PARIS G., ROSSETTI G., MENOZZI P., 1994. Limnological research on northern Apennine lakes (Italy) in relation to eutrophication and acidification risk. *Hydrobiologia*, **274**: 155-162.
- VINEBROOKE R.D., LEAVITT P.R., 1999. Differential responses of littoral communities to ultraviolet radiation in an alpine lake. *Ecology*, **80**: 223-237.
- WAGNER A., BENNDORF J., 2007. Climate-driven warming during spring destabilises a *Daphnia* population: a mechanistic food web approach. *Oecologia*, **151**: 351-364.
- WATHNE B.M., HANSEN H.E., 1997. *MOLAR. Measuring and modelling the dynamic response of remote mountain lake ecosystems to environmental change: a program of Mountain Lake Research*. Norsk Institutt for Vannforskning, Tromsø, Norway.
- WINDER M., SCHINDLER D.E., 2004a. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. *Ecology*, **85**: 2100-2106.
- WINDER M., SCHINDLER D.E., 2004b. Climatic effects on the phenology of lake processes. *Global Change Biology*, **10**: 1844-1856.