

Autori

Nico Salmaso¹, Mariano Bresciani², Fabio Buzzi³, Marzia Ciampittiello⁴, Barbara Leoni⁵, Roberta Piscia⁴, Michela Rogora⁴, Martina Austoni⁴, Monica Beltrami⁴, Roberto Bertoni⁴, Angela Boggero⁴, Adriano Boscaini¹, Pietro Alessandro Brivio², Cristiana Callieri⁴, Igor Cerutti⁴, Cristina Cappelletti¹, Paola Carrara², Leonardo Cerasino¹, Francesca Ciutti¹, Gianluca Corno⁴, Evelina Crippa⁴, Andrea Di Cesare⁴, Claudia Dresti⁴, Ester Eckert⁴, Claudio Foglini⁴, Diego Fontaneto⁴, Silvia Galafassi⁴, Paola Giacomotti⁴, Claudia Giardino², Piero Guilizzoni⁴, Mattia Iaia⁴, Andrea Lami⁴, Simone Lella², Dario Manca⁴, Marina Manca⁴, Aldo Marchetto⁴, Rosario Mosello⁴, Mauro Musanti², Veronica Nava⁵, Alessandro Oggioni², Arianna Orrù⁴, Martina Patelli⁵, Nicoletta Riccardi⁴, Helmi Saidi⁴, Paolo Sala⁴, Valentina Soler⁵, Gabriele A. Tartari⁴, Monica Tolotti¹, Pietro Volta⁴, Silvia Zaupa⁴

Affiliazione

¹ Fondazione Edmund Mach, via E. Mach 1, 38010, San Michele all'Adige.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano.

³ ARPA Lombardia, Dipartimento di Lecco, Via I Maggio, 21/b, I-23848 Oggiono (LC).

⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania (VB).

⁵ Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Piazza della Scienza 1, I 20126 Milano.

Referente macrosito: Nico Salmaso

Siti di ricerca:

Lago Maggiore, IT08-001-A

Lago di Candia, IT08-002-A

Lago d'Orta, IT08-003-A

Lago di Como, IT08-004-A

Lago di Garda, IT08-005-A

Lago d'Iseo, IT08-006-A

Tipologia di ecosistema: acque interne

DEIMS.ID: <https://deims.org/8ffe6c61-5473-4e56-9a6e-827baad941e5>

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il macrosito “TT08 Laghi Sudalpini” comprende un gruppo di laghi localizzato al margine meridionale della catena alpina. Le tipologie lacustri sono rappresentate da laghi estesi e profondi (Orta, Garda, Maggiore, Como e Iseo) e da un lago di minori dimensioni e bassa profondità (Candia). Le tematiche comuni a tutti i siti di ricerca comprendono: composizione, struttura e dinamica delle comunità biologiche (plancton, necton e comunità litorali) e loro risposte all'eutrofizzazione e ai cambiamenti climatici; le reti trofiche; la paleolimnologia; l'ecotossicologia; la qualità ecologica; il telerilevamento. Le attività di ricerca sono supportate da una ricca disponibilità di laboratori localizzati nelle differenti sedi e da un'ampia dotazione di apparecchiature tecnologiche. Queste infrastrutture, finanziate nell'ambito dei singoli istituti coinvolti nella ricerca, hanno permesso non solo di mantenere, ma anche di aggiornare i classici approcci utilizzati nel monitoraggio scientifico, aprendo, nel contempo, nuovi indirizzi di ricerca: ne sono esempi gli sviluppi nel campo dell'ecologia molecolare e microbica, il profiling metabolomico, la ricerca di geni di resistenza agli antibiotici, la sperimentazione di sistemi di monitoraggio ad alta frequenza mediante l'utilizzo di sensori. Nel corso dell'ultimo decennio, la regolarità nelle attività di ricerca nei laghi di maggiori dimensioni è stata favorita dalla disponibilità di finanziamenti esterni (progetti competitivi o previsti nell'ambito di cooperazioni transfrontaliere) e ordinari (progetti definiti nei singoli istituti o attività istituzionali nel caso delle ARPA). La varietà delle attività di ricerca svolte nei laghi sudalpini è testimoniata dalla pubblicazione di numerosi articoli scientifici e divulgativi, dai contributi presentati in congressi nazionali e internazionali, dall'organizzazione di convegni, seminari e attività e di formazione e divulgazione, oltre che dalla presenza nei media giornalistici.

La collaborazione tra i siti di ricerca appartenenti al macrosito Laghi Sudalpini vanta una lunga tradizione. Seppur regolate nell'ambito di progetti e accordi informali, numerose forme di collaborazione tra tutti gli attuali siti di ricerca erano infatti già attive ancor prima dell'istituzione della rete LTER-Italia. Nell'ambito di queste collaborazioni va inserito anche il Lago di Lugano che, pur non incluso nell'attuale network, rimane largamente coinvolto nelle attività di collaborazione scientifica con il supporto attivo della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera italiana (SUPSI, Canobbio). Le collaborazioni riguardano attività di supporto logistico reciproco (raccolta di campioni e analisi di laboratorio, intercalibrazioni), campagne di indagine focalizzate su argomenti specifici (tra cui ricerca di specie tossigeniche, zooplankton, reti trofiche, ecologia microbica, evoluzione a lungo termine dello stato trofico e dinamiche di mescolamento in relazione alle fluttuazioni climatiche, telerilevamento, microplastiche). I numerosi risultati ottenuti nell'ambito delle collaborazioni hanno permesso di produrre un elevato numero di articoli scientifici e contributi sinottici a livello congressuale e seminariale. In particolare, numerosi lavori di carattere sinottico sono stati recentemente pubblicati in un numero speciale della rivista *Hydrobiologia* dedicato ai grandi laghi perialpini (2018, volume 824, Issue 1).

Riassumendo, l'elemento chiave delle ricerche LTER nei laghi a sud delle Alpi è il loro approccio a lungo termine, su scale temporali che vanno ben oltre la durata tipica dei progetti di ricerca. Il monitoraggio scientifico costituisce un elemento centrale delle ricerche LTER, comprendendo non solo la raccolta di dati (monitoraggio di base), ma anche la loro interpretazione, modellizzazione e manipolazione sperimentale, con particolare attenzione a gruppi chiave di variabili selezionate al fine di individuare gli stressori ambientali più significativi e il grado di cambiamento a livello di ecosistema, comunità, specie e popolazioni. Tale approccio richiede necessariamente di essere implementato in un contesto di ricerca scientifica in grado di mantenere un elevato livello di qualità sia nei dati raccolti sia nella loro elaborazione, interpretazione, diffusione e valorizzazione, non solo a livello di singolo lago o macrosito, ma anche in più ampi contesti nazionali ed internazionali.

Abstract

The Macrosite “TT08 Subalpine Lakes” includes a group of lakes located at the southern border of the Alps. The lake typologies are represented by large and deep lakes (Orta, Garda, Maggiore, Como and Iseo) and by a lake of smaller size and shallow depth (Candia). Topics common to all the research sites

include the impact of eutrophication and climate change, the composition, structure and dynamics of biological communities (plankton, neuston and littoral communities), trophic webs, paleolimnology, ecotoxicology, ecological status and remote sensing. Scientific investigations are supported by a wide availability of technological infrastructures and laboratories located in the reference institutions, and by a wide range of technological equipment for fieldwork. These facilities, funded within the individual institutes involved in the research, have allowed not only to maintain, but also to update the classical approaches used in scientific monitoring, while opening up new research fields (especially molecular ecology, microbial ecology, metabolomic profiling, antibiotic resistance genes, high frequency monitoring by sensor technology). Over the last decade, the continuity and regularity of investigations have been facilitated by the availability of both external and ordinary funds. The variety of research activities carried out on the IT08 macrosite is evidenced by the publication of numerous scientific papers, as well as contributions (oral or poster) presented at national and international conferences, and by the presence in the mass media. In this context, the scientific monitoring is a key element of LTER research, including not only data collection (basic monitoring), but also data interpretation, modeling, and experimental manipulation, with particular attention to key groups of selected variables in order to identify the most significant environmental stressors and the degree of change at the level of ecosystems, communities, species and populations.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare tutte le persone che, nel corso di questi anni, hanno contribuito alla ricerca ecologica a lungo termine nel distretto lacustre subalpino. In particolare, un sentito ringraziamento va a tutto il personale ricercatore, scientifico, tecnico, e a tutti i collaboratori e studenti che con pazienza e dedizione hanno contribuito alla raccolta delle serie storiche di dati. Oltre che con il fondamentale supporto logistico e finanziario delle istituzioni di afferenza, le ricerche sono svolte con il supporto di numerose altre istituzioni, enti e programmi di finanziamento citati alla fine di ogni sezione dedicata ai rispettivi siti di ricerca.

Vogliamo dedicare questo capitolo alla memoria di uno scienziato che ha contribuito alla nascita e allo sviluppo della ricerca LTER nel distretto lacustre sudalpino: Giuseppe Morabito. Questo è uno dei primi lavori sinottici in cui Giuseppe, da sempre anima portante delle attività LTER, non è con noi. Ed è anche mantenendo l'impegno e la continuità nelle ricerche che vogliamo ricordarlo.

Manca M. (2017). In memoriam of Peppe Morabito. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/aiol.2017.7209>.



Fig. 1 - Siti di ricerca del macrosito IT08-Laghi Sudalpini. (A) Lago Maggiore, imbarcazione "Livia" utilizzata per i campionamenti; (B) Lago di Candia; (C) Lago d'Orta; (D) Lago di Como; (E) Lago di Garda, in navigazione verso la stazione IT_044, 18 dicembre 2018; (F) campionamento sul Lago d'Iseo

Autori

Michela Rogora, Martina Austoni, Roberto Bertoni, Angela Boggero, Cristiana Callieri, Marzia Ciampittiello, Gianluca Corno, Evelina Crippa, Andrea Di Cesare, Claudia Dresti, Ester Eckert, Diego Fontaneto, Paola Giacomotti, Andrea Lami, Dario Manca, Marina Manca, Aldo Marchetto, Arianna Orrù, Rosario Mosello, Roberta Piscia, Helmi Saidi, Paolo Sala, Gabriele A. Tartari, Pietro Volta

Affiliazione

Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania (VB).

Sigla: IT08-001-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/f30007c4-8a6e-4f11-ab87-569db54638fe>

Responsabile Sito: Michela Rogora

Coordinate geografiche (deims.id):

45,9547 N; 8,634 E

Localizzazione: Italia, regioni Lombardia e Piemonte; Svizzera

Altitudine: 193 m s.l.m.

Area lago: 212 km²

Area bacino imbrifero: 6659 km²

Perimetro: 170 km

Profondità media: 176,5 m

Profondità massima: 370 m

Tempo teorico di ricambio: 4,5 anni

Volume: $37,5 \times 10^9$ m³

Stato trofico: meso-oligotrofo

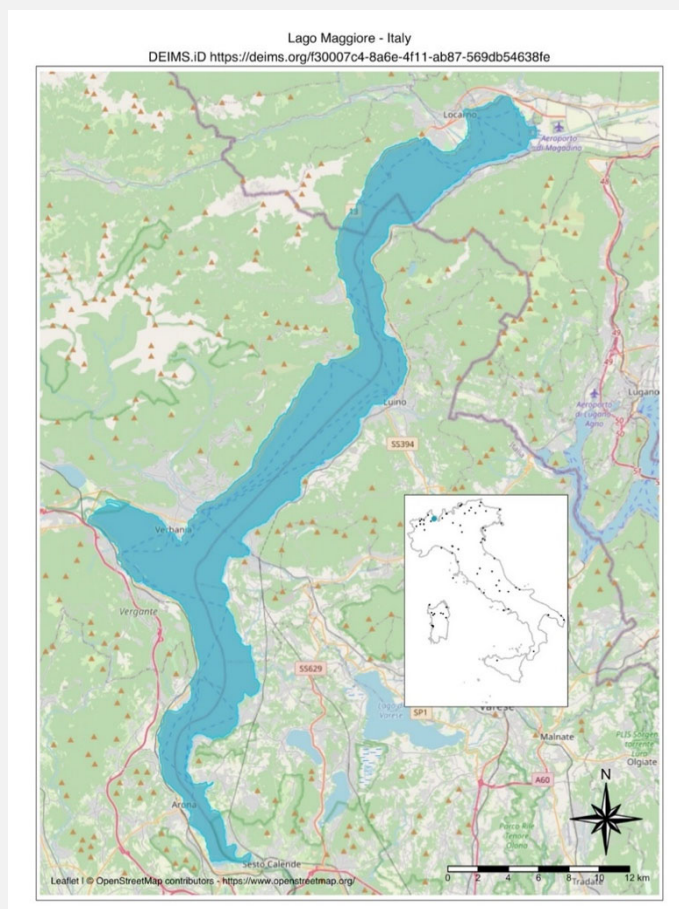
Status di protezione: ZPS IT2010502 Canneti

del Lago Maggiore; SIC – ZPS IT1150004

Canneti di Dormelletto; Riserva naturale

speciale di Fondotoce

Tematiche di Ricerca: evoluzione trofica, dinamiche popolamenti planctonici e ittici, catena alimentare microbica, effetti dei cambiamenti climatici, biodiversità, specie invasive, micro e macroinquinanti, paleolimnologia, telerilevamento, modellistica



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Maggiore (Figg. 2 e 3) è un lago profondo subalpino, il cui bacino imbrifero è suddiviso equamente tra Italia e Svizzera. La porzione italiana del bacino appartiene alle Province di Varese, Novara e Verbania (Regioni Lombardia e Piemonte). Il Lago Maggiore, oggetto di studi occasionali già dall'inizio



Fig. 2 - Lago Maggiore. Foto: Gabriele Tartari

del secolo scorso, viene studiato sistematicamente dal 1938 con la fondazione a Verbania dell'Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi (successivamente denominato CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi e, dal 2018, CNR Istituto di Ricerca sulle Acque). Dal 1952, sempre a Verbania, entra in funzione una stazione limnografica per la misura di livello e profilo termico e una stazione meteorologica,

entrambe ancora attive. Gli studi sul plancton e sull'idrochimica del Lago Maggiore mettono in evidenza la progressiva eutrofizzazione del lago tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso. Grazie anche all'attività di ricerca dell'Istituto, negli anni '80 vengono messi in atto una serie di interventi per controllare l'eutrofizzazione che portano, nei decenni successivi, alla progressiva diminuzione degli apporti di nutrienti a lago e al raggiungimento dell'attuale condizione di oligo-mesotrofia. Dal 1980 viene inoltre avviato un programma di monitoraggio e ricerca sistematico, promosso dalla CIP AIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo Svizzere) e tuttora in corso, che ha permesso di raccogliere una serie storica, continua e a frequenza elevata, di dati meteorologici, idrologici, fisici, chimici e biologici (CNR IRSA Sede di Verbania 2016).

La stazione limnologica principale sul Lago Maggiore è quella di Ghiffa, in corrispondenza del punto di massima profondità. Per ricerche specifiche sono però state considerate, per periodi limitati, anche altre stazioni di campionamento, tra cui il bacino di Pallanza. I campionamenti per le indagini limnologiche sono svolti dal CNR IRSA di Verbania con frequenza mensile e a diverse profondità lungo la colonna d'acqua. I dati a lungo termine comprendono dati meteorologici misurati in continuo, idrologia dei tributari, limnologia fisica (termica lacustre, trasparenza, profondità di mescolamento), idrochimica del lago e dei tributari (pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti, ossigeno disciolto), clorofilla, carbonio organico, fitoplancton, zooplancton, batterioplancton e pesci. Recentemente, alla raccolta di questi dati sono state affiancate altre indagini, tra cui la determinazione dei geni di antibiotico resistenza (ABR), l'analisi delle particelle esopolimeriche trasparenti (TEP) e l'utilizzo del barcoding molecolare per l'identificazione tassonomica degli organismi fito – e zooplanctonici. Dal 2008 il monitoraggio del popolamento zooplanctonico è stato affiancato da analisi isotopiche per lo studio delle reti trofiche. In collaborazione con il CNR IREA di Milano, vengono svolte ricerche sull'applicazione del telerilevamento da satellite per il monitoraggio della qualità delle acque. Inoltre, nell'ambito delle ricerche sulle sostanze pericolose, sempre promosse dalla CIP AIS, vengono considerati alcuni contaminanti in organismi indicatori (zooplancton, molluschi bivalvi, pesci); queste ricerche sono condotte dal CNR IRSA (Sedi di Brugherio e di Verbania), dall'Università degli Studi dell'Insubria e dall'Università degli Studi di Milano.

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano: l'evoluzione dello stato trofico; le dinamiche dei popolamenti planctonici e ittici; la rete alimentare microbica; gli effetti dei cambiamenti climatici, inclusi gli eventi estremi, su idrologia, termica lacustre, idrochimica e comunità biologiche; la biodiversità; le specie invasive; i micro e macroinquinanti; la paleolimnologia; il telerilevamento da satellite; la modellistica idrodinamica ed ecologica.

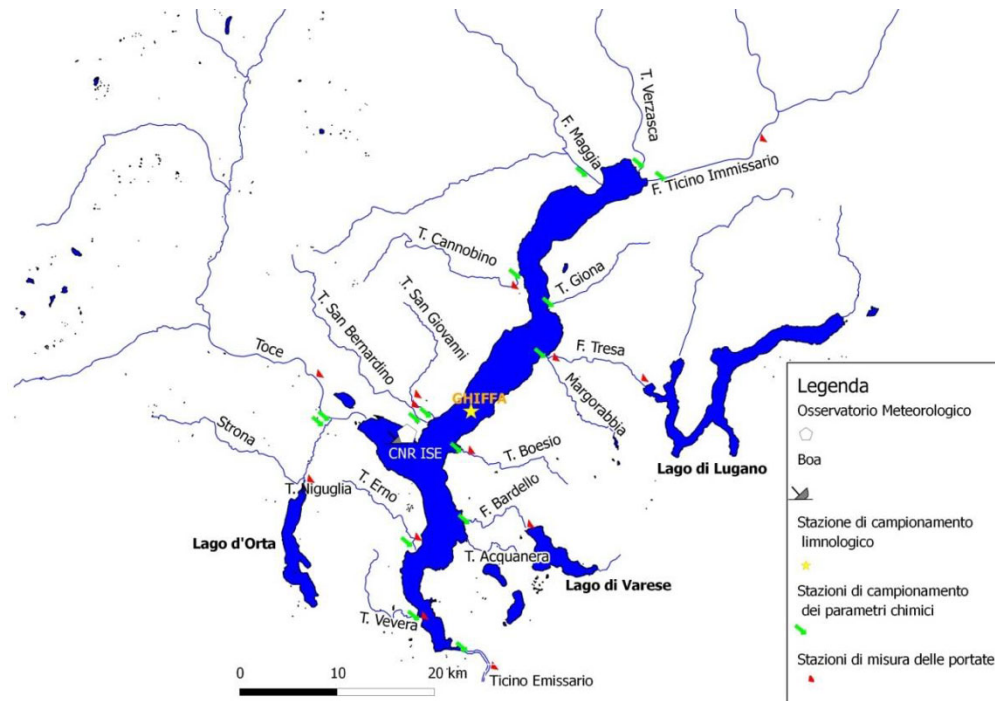


Fig. 3 - Il Lago Maggiore ed i suoi principali tributari, con la localizzazione delle stazioni di campionamento

Risultati

Le analisi delle serie storiche di dati disponibili per il Lago Maggiore e gli studi paleolimnologici (Mosello e Ruggiu 1985; Guilizzoni *et al.* 2012) hanno messo in evidenza il progressivo diminuire, dal 1980 ad oggi, degli apporti di nutrienti dal bacino, in particolare di fosforo, e delle concentrazioni nel lago. Tale diminuzione è stata affiancata da una progressiva riduzione della concentrazione di clorofilla, della biomassa algale e del carbonio organico, avviando il processo di oligotrofizzazione che ha portato il Lago Maggiore all'attuale stato di meso-oligotrofia, cioè alla condizione tipica per questo ambiente (Fig. 4). Gli studi a lungo termine hanno consentito di seguire in grande dettaglio la fase di oligotrofizzazione e i suoi effetti sulle dinamiche di popolazione, sui rapporti tra i livelli trofici e sulla biodiversità (Mosello *et al.* 2010). Lo studio della termica lacustre ha messo in luce l'effetto del riscaldamento globale sul Lago Maggiore, che è andato incontro al progressivo riscaldamento dell'ipolimnio profondo oltre che all'innalzamento della temperatura media degli strati più superficiali (Ambrosetti e Barbanti 1999). Le acque superficiali del Lago Maggiore si sono scaldate negli ultimi due decenni di circa 0,31°C/decade, in linea con i valori osservati negli altri laghi profondi subalpini e con le tendenze a livello globale (O'Reilly *et al.* 2015). Un effetto osservato del riscaldamento climatico è anche l'aumento della stabilità della colonna d'acqua e la diminuzione della frequenza e dell'estensione del rimescolamento verticale, con conseguenze sulla distribuzione dell'ossigeno e dei nutrienti lungo la colonna d'acqua (Rogora *et al.* 2018). I dati a lungo termine hanno inoltre consentito di iniziare a valutare il ruolo di eventi climatici estremi, quali le precipitazioni brevi e intense, sull'apporto di nutrienti o inquinanti a lago (Callieri *et al.* 2014; Morabito *et al.* 2018). In generale, i dati del periodo più recente indicano come i fattori meteo-climatici giochino un ruolo fondamentale nel controllare la dinamica del plancton nel Lago Maggiore; ad esempio temperature più miti e precipitazioni più intense e concentrate in periodi brevi possono favorire la

dominanza di alcune popolazioni fitoplanctoniche quali i cianobatteri e, in certe condizioni, lo sviluppo di fioriture (Morabito *et al.* 2012, 2018). Inoltre, recenti studi basati sull'applicazione di modelli numerici hanno dimostrato come, in assenza di una riduzione nelle emissioni di gas-serra (GHG) in atmosfera e quindi di una mitigazione del riscaldamento climatico previsto, il Lago Maggiore andrà incontro ad una progressiva riduzione nella frequenza ed entità degli eventi di circolazione (Fenocchi *et al.* 2018), con effetti importanti sulla qualità delle acque e sull'ecosistema nel suo complesso.

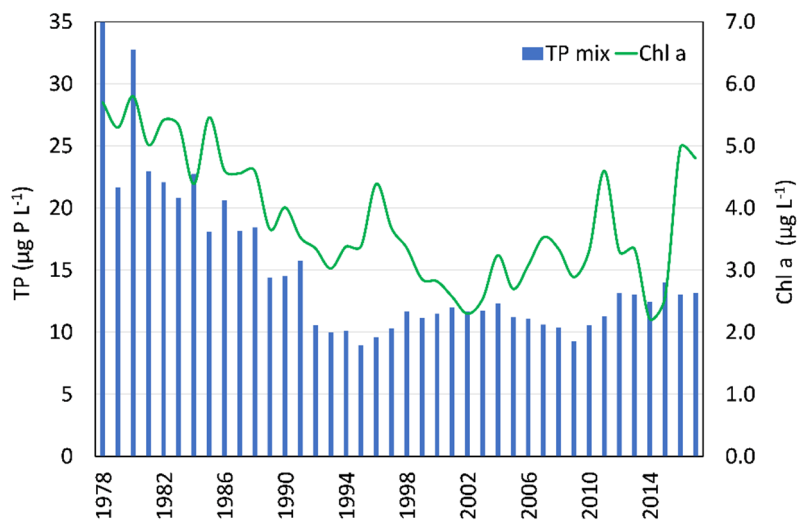


Fig. 4 - Andamento dei valori medi annui di clorofilla nello strato 0-20 m e delle concentrazioni di fosforo totale (TP) alla circolazione tardo invernale (marzo) (media ponderata sulla colonna d'acqua) nel Lago Maggiore dal 1978 al 2017

apparsi anche nuovi contaminanti come i ritardanti di fiamma organobromurati, PBDE, di origine industriale (Poma *et al.* 2014).

Una linea di ricerca avviata nel 2013 e tuttora in corso è quella sulla valutazione dell'antibiotico resistenza nei batteri. Queste indagini, che affrontano un problema di grande interesse per le sue possibili ricadute sulla salute pubblica, hanno permesso di far emergere come, anche nel Lago Maggiore, la resistenza specifica ad antibiotici sintetici sia presente e diffusa nel microbiota (Di Cesare *et al.* 2015; Eckert *et al.* 2018). Sempre nel 2013 si è cominciata a misurare la componente mucillaginosa del carbonio organico (TEP) legata alla presenza di fioriture di cianobatteri o di altri taxa fitoplanctonici e responsabile della presenza occasionale di schiume in tarda estate (Callieri *et al.* 2017). Infine, a partire dal 2017, nell'ambito del progetto SPAM, sono state avviate ricerche sulle specie alloctone invasive presenti nel bacino del Lago Maggiore.

Grazie alle lunghe serie di dati limnologici, raccolti con frequenze ampiamente superiori rispetto a quelle previste dai monitoraggi ai sensi di legge (D.L. 260/2010), il Lago Maggiore rappresenta uno degli esempi più significativi di indagini a lungo termine sui bacini lacustri. La continuità delle ricerche ha consentito la partecipazione a numerose iniziative di ricerca a livello nazionale ed internazionale, volte ad analizzare e comprendere le dinamiche degli ecosistemi lacustri in risposta ai cambiamenti globali.

Il Lago Maggiore è sito di ricerca nell'ambito dell'azione COST NETLAKE (Networking Lake Observatories in Europe), sul monitoraggio ad alta frequenza dei laghi, e del network internazionale GLEON (Global Lake Network). Il lago è stato inoltre inserito nel Progetto Strategico di Grande Rilevanza nazionale Italia-Cina sull'implementazione di nuovi sistemi di disinfezione delle acque reflue afferenti al lago, finanziato dal MAECI e dal MATTM. Recentemente sono state avviate delle ricerche sullo sviluppo di sensori per la misura di parametri meteo-idrologici e limnologici ad alta frequenza nell'ambito dei progetti PITAGORA (Piattaforma interoperabile tecnologica per l'acquisizione, la gestione e l'organizzazione dei dati ambientali – POR FESR 2007/2013 della Regione Piemonte) e SAILING (Sensor-based Assessment on In Lake processes and water quality – Scientific INvestigation

and Growing environmental awareness). Il progetto BLASCO (Blending Blending Laboratory and Satellite techniques for detecting Cyanobacteria), finanziato da Fondazione CARIPO e condotto in collaborazione con il CNR IREA, ha consentito invece lo sviluppo di ricerche sui cianobatteri e la possibilità di identificarli attraverso tecniche di telerilevamento.

Il Lago Maggiore è sito per il “Transnational Access” nell’ambito del progetto eLTER H2020 (Integrated European Long-Term Ecosystem & Socio-Ecological Research Infrastructure). Il sito Lago Maggiore è quello che ha ottenuto il maggior numero di richieste di Trans-National Access tra i siti europei. Ad oggi si sono svolte due visite di ricercatori presso il sito, su tematiche connesse allo studio degli ecosistemi e della biodiversità.

Attività di formazione e divulgazione

Il Lago Maggiore è stato oggetto di numerose tesi di laurea e dottorato, svolte in collaborazione con Università italiane e straniere. Numerose sono inoltre le attività di formazione, aventi come oggetto il Lago Maggiore e le ricerche che lo riguardano, che vengono svolte sul territorio sotto forma di seminari, incontri presso scuole di diverso ordine e grado, visite di studenti di scuole e Università presso il CNR IRSA di Verbania.

Il Lago Maggiore è stato sito di arrivo del Cammino LTER Italia “Rosa...azzurro...verde! Eco-staffetta tra i siti LTER dal Monte Rosa al Lago Maggiore”, svoltosi nell’agosto 2015.

Prospettive future

Nel complesso i risultati ottenuti dall’analisi dei dati a lungo termine sul Lago Maggiore indicano come lo stato ecologico attuale del lago sia il risultato di un delicato equilibrio tra il controllo imposto dai fattori meteorologici e quello legato alla pressione antropica che ancora grava sull’ecosistema. Le ricerche previste nel prossimo futuro si focalizzeranno sull’interazione tra diversi fattori di perturbazione quali: l’apporto di nutrienti dal bacino, in particolare sotto forma di carichi diffusi; i cambiamenti d’uso del suolo; le alterazioni idro-morfologiche; l’introduzione di specie aliene ed i cambiamenti climatici, intesi sia come variazioni nel lungo periodo che come eventi a breve termine (es. siccità, precipitazioni intense). L’introduzione di sostanze o organismi capaci di alterare la rete trofica e compromettere la qualità delle acque lacustri rappresenta un ulteriore fattore di pressione verso cui indirizzare gli sforzi di ricerca e gestione nell’immediato futuro. Infine è necessario ottimizzare gli sforzi di campionamento ed analisi, integrando dove possibile le modalità di monitoraggio tradizionali con tecniche innovative, quali il metabarcoding per l’identificazione degli organismi e il ricorso a sensori montati su boe o piattaforme per il monitoraggio ad alta frequenza di parametri meteo-idrologici e limnologici. Le ricerche più recenti avviate sul Lago Maggiore si focalizzano proprio su questi aspetti. Nelle campagne limnologiche dei prossimi anni si prevede infatti di svolgere approfondimenti sull’utilizzo del DNA barcoding per testare la possibilità di associarlo alle analisi tassonomiche degli organismi, facilitando la valutazione dell’evoluzione dei popolamenti planctonici nel lago. Anche nell’ambito delle ricerche finanziate dalla CIPAIIS sugli ambienti litorali, nei prossimi anni si prevede di ampliare le conoscenze sulla diversità biologica all’interno di alcune aree protette nel bacino del Lago Maggiore e alla foce dei principali tributari attraverso analisi di tassonomia morfologica e molecolare condotti in parallelo.

Le ricerche sulla distribuzione dei geni di antibiotico resistenza amplieranno lo spettro di analisi con l’individuazione di ulteriori geni di resistenza. Proseguendo gli studi modellistici, si prevede di simulare l’evoluzione delle dinamiche di mescolamento, ossigeno e nutrienti a lago in diversi scenari climatici combinati con scenari di apporti di nutrienti dal bacino, con l’obiettivo di fornire uno strumento previsionale e di supporto alle decisioni.

Un’importante criticità per il lago è rappresentata dalla gestione dei livelli dell’acqua e dalle ripercussioni che le loro oscillazioni possono avere sull’ecosistema. Per questo motivo, recentemente è stato istituito un tavolo tecnico per la verifica delle attività di sperimentazione di una nuova regolazione primaverile-estiva dei livelli del lago. Lo scopo è valutare possibili criticità che potrebbero emergere, quali

un maggiore rischio di esondazione nel periodo primaverile-estivo e i possibili impatti sulle biocenosi. Nei prossimi anni, il progetto INTERREG IT-CH “PARCHI VERBANO TICINO” andrà a valutare gli effetti della variazione dei livelli sul sistema lago, utilizzando alcune componenti faunistiche bioindicatrici di qualità dell’ecosistema (macro-meiofauna bentonica e bivalvi).

Nell’ambito del progetto INTERREG IT-CH “SIMILE”, di recente attivazione, sono previsti lo sviluppo e l’installazione su lago di boe per il monitoraggio ad alta frequenza di alcuni parametri selezionati (temperatura, pH, conducibilità, ossigeno disciolto, clorofilla), allo scopo di creare un sistema di monitoraggio integrato che coinvolga anche i dati satellitari. Infine, nell’ambito del progetto INTERREG IT-CH “SHARESALMO” è prevista l’istituzione di una rete di sensori acustici per il rilevamento dei pattern di migrazione dei salmonidi autoctoni, sia nel lago che verso i tributari anche in relazioni ai parametri meteo-climatici.

Abstract

Lake Maggiore is a deep subalpine lake (surface area 212 km², max depth 370 m, volume 37 km³) located in North-Western Italy (Piedmont and Lombardy regions, Italy; Canton Ticino, Switzerland). The lake catchment (6600 km²) is shared almost equally between Italy and Switzerland. Regular studies on Lake Maggiore have been established in 1938 with the foundation of the Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi in Verbania (later on CNR Institute of Ecosystem Study of the National Research Council of Italy – CNR ISE, and, since 2018, Water Research Institute – CNR IRSA). Since 1952, meteorological data are regularly collected by a station in Verbania. Lake Maggiore underwent eutrophication between the 1950s and 1970s. Since the 1980s, thanks to a restoration program aiming to reduce catchment loads, a process of oligotrophication started and the lake progressively reached the present status of oligo-mesotrophy. In the 1980s, a long-term monitoring program, still on going, was established, funded by the International Commission for the Protection of Waters between Italy and Switzerland (CIP AIS). Thank to this program, long-term series of limnological data (meteorological, hydrological, physical, chemical and biological data) have been collected. The main research topics considered at this site are the evolution of the trophic status, the dynamic of plankton and fish population, the microbial loop, the effects of climate change, including extreme events, on hydrology, thermal structure, water chemistry and biological communities, biodiversity, invasive species, micro and macro pollutants, paleolimnology, satellite data, hydrodynamic and ecological modelling.

Ringraziamenti

Le ricerche nel sito Lago Maggiore (LTER_EU_IT_045) sono in parte finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIP AIS). Si ringrazia tutto il personale tecnico-scientifico del CNR IRSA che partecipa alle campagne limnologiche e tutti gli studenti di laurea e dottorato, collaboratori post-doc, ricercatori e tecnici che hanno preso parte nel tempo agli studi sul Lago Maggiore contribuendo con il loro lavoro alla continuità delle ricerche.

I rapporti CIP AIS sul Lago Maggiore sono disponibili al seguente link:

<http://www.cipais.org/html/lago-maggiore-pubblicazioni.asp>

Autori

Marzia Ciampittiello¹, Alessandro Oggioni², Nicoletta Riccardi¹

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, 28922, Verbania, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano.

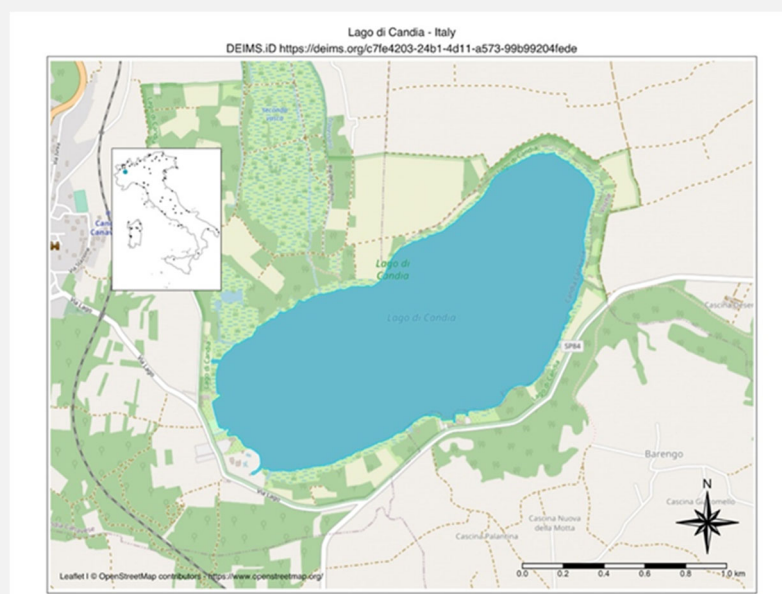
Sigla: IT08-002-A.

Responsabile sito: Marzia Ciampittiello.

DEIMS.ID: <https://deims.org/c7fe4203-24b1-4d11-a573-99b99204fede>

Coordinate geografiche (deims.id):
45,325 N; 7.915 E

Localizzazione: Regione Piemonte
Altitudine: 226 m s.l.m.
Area lago: 1,5 km²
Area bacino imbrifero: 8,9 km²
Perimetro: 5,5 km
Profondità media: 4,7 m
Profondità massima: 7,7
Volume: 7×106 m³
Tempo teorico di ricambio: 8 anni
Stato trofico: mesotrofo
Status di protezione: ZPS-SIC Lago di Candia – codice IT1110036
Tematiche di ricerca: Evoluzione trofica, variazioni funzionali nelle comunità fito e zooplanctoniche, effetti delle variazioni climatiche



Descrizione del sito e sue finalità

Il Lago di Candia (Fig. 5 e 6) è situato nel Comune di Candia Canavese, nella Provincia di Torino. Il bacino del Lago di Candia si trova inserito nell'ampio anfiteatro morenico di Ivrea e fa parte del bacino idrografico della Dora Baltea; è costituito prevalentemente da campi coltivati delimitati a sud da una serie di colline, mentre a nord nord-est il bacino si chiude a ridosso del lago. Il lago ha una quota media di 226 m s.l.m e un volume di 0,007 km³.



Fig. 5 - Lago di Candia. Foto: archivio CNR IRSA

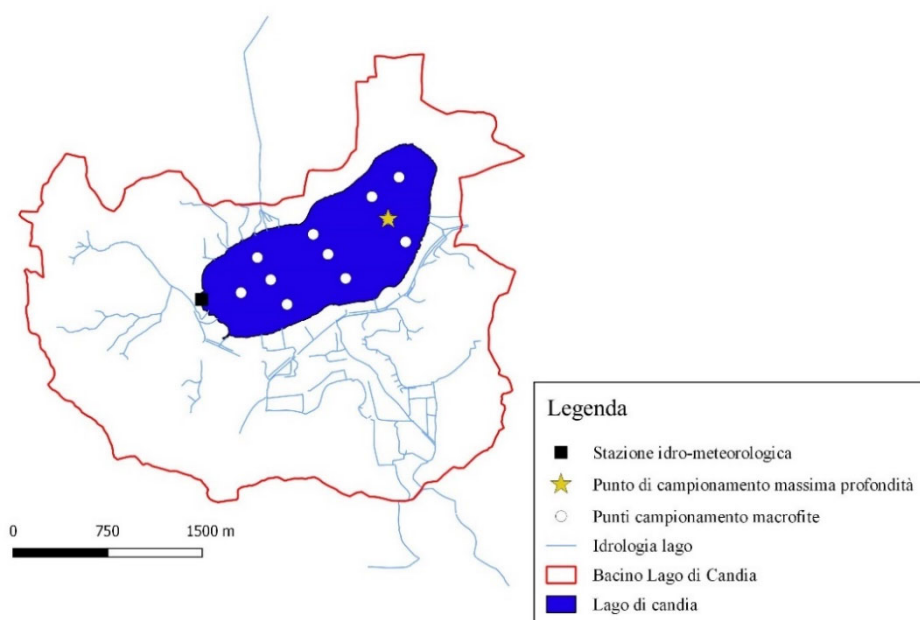


Fig. 6 - Il Lago di Candia e la sua rete idrografica, con la localizzazione delle stazioni di campionamento e della centralina idro-meteorologica

to della densità zooplanctonica così da diminuire la densità algale ed aumentare la trasparenza delle acque (biomanipolazione); b) gestione della zona umida confinante con il bacino lacustre, così da ripristinare ed incrementare le aree riproduttive delle specie ittiche, in particolare i predatori ittiofagi (luccio e persico

L'orientamento geografico del lago, Nord-Est, Sud-Ovest lo porta ad avere una forma piuttosto allungata, sottolineata dall'indice di forma o di Gravelius pari a 1.46.

Il Lago di Candia ha subito, nel corso della sua evoluzione, un naturale aumento del suo stato trofico andando incontro a un processo di eutrofizzazione culminato con un deciso peggioramento della sua qualità ecologica a partire dagli anni '60 del secolo scorso (Lami *et al.* 2000). Tra la fine degli anni '70 e la metà degli anni '80, l'ecosistema fu interessato da morie ittiche e dall'enorme sviluppo di macrofite acquatiche emerse e sommerse. Lo studio scientifico sistematico del Lago di Candia è iniziato nel 1985,

quando il CNR di Verbania fu chiamato a realizzare uno studio limnologico dell'ambiente, con lo scopo di proporre un possibile intervento di risanamento. Tale intervento, oltre al controllo delle fonti inquinanti dal bacino, prevedeva l'applicazione di ecotecnologie finalizzate a ridurre gli effetti dell'eutrofizzazione. Le attività che sono state sviluppate si possono sintetizzare in: a) riduzione numerica delle popolazioni ittiche sovrabbondanti, per indurre un aumento

trota); c) raccolta ed asportazione dal bacino di parte delle macrofite acquatiche, per ridurre il carico interno di nutrienti.

La sperimentazione condotta nel Lago di Candia ha dimostrato come sia possibile ottenere apprezzabili miglioramenti della trofia attraverso una gestione mirata di alcune componenti chiave della biocenosi lacustre. Grazie a convenzioni stipulate prima con la Regione Piemonte e il Comune di Candia Canavese, e successivamente con il Parco Naturale di Interesse Provinciale del Lago di Candia, fin dalla fine degli anni '80 è stato possibile approfondire gli studi sugli aspetti limnologici, in particolare sui principali parametri chimici, sui nutrienti, sullo zooplancton, sulla fauna ittica e sulle macrofite.

Attraverso il progetto MICARI (Strumenti e procedure per il MIGlioramento della CAPacità Ricettiva di corpi Idrici superficiali) durante gli anni 2002-2004, si è potuto iniziare a valutare gli aspetti idrologici e idrogeologici con una prima valutazione del bilancio idrologico del lago. La conseguente valutazione del carico di nutrienti proveniente dal bacino ha messo in luce come fosse di primaria importanza agire sulle fonti diffuse di nutrienti (fosforo e azoto) per ridurre il problema dell'eutrofizzazione.

Negli anni 2003-2005 è stata sviluppata un'ulteriore attività di ricerca, volta a ridurre i carichi di nutrienti veicolati al lago dal territorio agricolo circostante. In collaborazione con il Parco Naturale Provinciale del Lago di Candia è stato avviato il progetto LIFE TRELAGHI (Interventi di riduzione dell'eutrofizzazione di 3 piccoli laghi italiani), per favorire la riduzione dei fenomeni di eutrofizzazione emergenti nelle acque lacustri. Allo scopo sono stati utilizzati fertilizzanti naturali, micorrize (organismi simbiotici funghi-batteri fissati sull'apparato radicale delle piante) in una porzione agricola del bacino del lago, nonché proprietà di assorbimento chimico-fisico di alcuni minerali (rocce zeolitiche).

Un ulteriore intervento mirante ricollegare il lago di Candia con la palude presente in prossimità dell'emissario, è stato quello di ripristinarne l'allagamento attraverso una serie di chiuse e canali. Lo scopo di questo intervento deve essere ricercato nell'idea di ricostituire una nursery per le diverse specie ittiche presenti, così che esse possano, in modo naturale, ripristinare i loro cicli vitali.

Nel 2002-2005 e nel 2013 sono stati effettuati campionamenti di bivalvi Unionidi per lo studio della composizione e abbondanza delle popolazioni.

Nel 2008 è stata condotta una campagna di misure sulla produzione primaria del fitoplancton attraverso la valutazione di un ciclo giorno-notte.

Dopo l'allagamento della palude e la conseguente riconnessione idrologica dei due ambienti, avvenuta tra il 2008 e il 2009, si è registrato un cambio nelle caratteristiche idrologiche del lago, con conseguenti maggiori probabilità di allagamento in occasione anche di piogge non particolarmente elevate. Alla luce dei recenti cambiamenti climatici in atto, si è inoltre notato come vi sia una relazione tra la comparsa di fioriture algali e il verificarsi di piogge intense. L'ultima campagna di indagini limnologiche è stata svolta nel 2011. Nel 2010-2011 il lago è stato infatti monitorato per gli elementi di qualità biotica previsti dal D.L. 260/2010, e per quelli idro-morfologici, nell'ambito del Progetto LIFE+INHABIT (08/ENV/IT/000413), rivolto ad una valutazione dell'affidabilità dei protocolli di campionamento e degli indici biotici adottati in ambito nazionale.

Dal 2006 al 2012 è stata condotta una mappatura di dettaglio delle macrofite presenti nel lago allo scopo anche di valutare gli effetti delle attività di sfalcio eseguite in quegli anni.

Tra il 2015 e il 2016 è stato possibile approfondire la conoscenza sulla fauna ittica presente nel lago e aggiornare il bilancio idrologico, sottolineando ancora una volta l'importanza degli aspetti idrogeologici, poco noti, sugli aspetti idrologici fisici e anche biologici del lago (Ciampittiello *et al.* 2017).

Il Lago di Candia rientra in una zona di protezione ZPS-SIC con codice IT1110036 ed è quindi inserito nella rete di monitoraggio di ARPA Piemonte per la valutazione di qualità dei corpi idrici ai sensi del D.L. n. 260/2010.

In sintesi, si può dire che le attività di ricerca sul Lago di Candia sono relative ad analisi a lungo termine delle variazioni della diversità funzionale in comunità fito – e zooplanctoniche, con una valutazione più recente della risposta dell'ecosistema lacustre ad eventi meteorici brevi ed intensi, in relazione all'incremento dell'apporto di nutrienti tramite ruscellamento superficiale.

Dal 1985, data di inizio delle attività di ricerca sul Lago di Candia da parte del CNR di Verbania, sono state acquisiti diverse tipologie di dati, con frequenza e finalità differenti.

Dal 1986 al 2012 sono stati raccolti dati di idrochimica, fitoplancton, zooplancton, fauna ittica, macrofite, nonché di limnologia fisica.

Dal 1987 ad oggi sono stati raccolti dati meteo-idrologici attraverso una stazione meteorologica posizionata sulla riva del lago, con misure in continuo dei seguenti parametri: precipitazioni, temperatura dell'aria, vento, radiazione solare, livelli del lago.

Dal 2010 al 2012 sono stati effettuati campionamenti di macrofite seguendo la metodologia di campionamento per l'elemento di qualità "macrofite" indicato per la direttiva WFD (Water Framework Directive 2000/60/EC) rilevando abbondanza delle diverse specie a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 m di profondità (DL n° 260 – 8 novembre 2010).

I parametri chimici analizzati comprendono: pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti algali (composti di fosforo e azoto, silicati), ossigeno disciolto, carbonio organico particellato e totale.

Le comunità biotiche principali considerate sono: batterioplancton, fitoplancton, zooplancton, bentos, macrofite, pesci.

Per quanto riguarda fitoplancton, zooplancton e bivalvi Unionidi sono stati valutati abbondanza e composizione. Sono stati inoltre analizzati clorofilla e pigmenti fotosintetici specifici.

I parametri di limnologia fisica misurati sono stati: trasparenza, livello del lago, profilo di temperatura, trasparenza con il disco di Secchi.

I dati raccolti sono stati archiviati in un database proprietario (non open source); il metadatabase è consultabile al link: http://www.ise.cnr.it/lter/candia/Candia_DB.htm.

Ulteriori parametri e dati sono stati raccolti durante le diverse attività di ricerca sviluppate sul lago, in particolare durante il progetto INHABIT (*Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes*), che ha visto la raccolta e l'analisi di parametri idro-morfologici ottenuti con l'applicazione del metodo LHS (*Lake Habitat Survey*) (es. artificialità delle sponde, vegetazione spondale e litorale, caratteristiche fisiche delle sponde e della zona litorale, etc.). L'elaborazione dei dati idro-morfologici ha permesso di determinare due indici specifici, l'indice di qualità LHQA (*Lake Habitat Quality Assessment*) e l'indice di alterazione morfologica LHMS (*Lake Habitat Modification Score*), che, rapportati a quelli trovati in altri laghi italiani, hanno dato informazioni importanti sulla qualità degli habitat e la qualità morfologica del lago di Candia.

Enti coinvolti nelle attività di ricerca

Fin dalle prime attività di ricerca svolte si sono stretti rapporti continuativi con il Comune di Candia Canavese e la Regione Piemonte, e poi con la Provincia di Torino e il Parco Naturale di Interesse Provinciale del Lago di Candia. L'Ente Parco ha allestito, all'interno della sua sede localizzata sulla riva del lago, un laboratorio didattico dove è possibile effettuare analisi limnologiche di base (filtrazioni, titolazioni manuali, semplici misure spettrometriche). L'accesso alle strutture disponibili (imbarcazioni e sistemi di campionamento) è possibile previo accordo con la Direzione dell'Istituto e con l'Amministrazione Provinciale che gestisce l'Ente Parco. Questo laboratorio nel tempo è stato sede di visite e attività didattiche per scuole di diverso ordine e grado. Con la nascita della Città Metropolitana di Torino, i contatti relativi alle attività sul Lago Candia sono continuati con questa nuova realtà.

Il CNR IRSA sede di Verbania collabora stabilmente con ARPA Piemonte per il programma di monitoraggio e la valutazione di qualità del Lago di Candia con indici biotici, secondo normativa.

Risultati

I meccanismi di controllo top-down (riduzione dei pesci zooplanctivori) e bottom-up (riduzione della disponibilità di nutrienti per le alghe) hanno operato sinergicamente in maniera efficace determinando una riduzione della biomassa fitoplanctonica di circa il 50% (Giussani *et al.* 1990). Dopo il 1991

l'ecosistema lacustre ha assunto un nuovo assetto passando dallo stato di eutrofia a quello di mesotrofia. La continuità nella gestione della biocenosi a macrofite ha permesso di mitigare anche le spinte eutrofizzanti derivanti dagli apporti esterni di nutrienti (Galanti *et al.* 1990; Galanti *et al.* 1991).

Si deve tuttavia osservare che le relazioni causa-effetto cui si accenna sono relative ai comparti interni all'ecosistema lago e, al momento, non tengono conto di possibili effetti derivanti da fattori esterni quali variazioni meteo-climatiche, idrologiche e dalle attività umane a livello di bacino che possono incidere, in maniera diretta o indiretta, sulla quantità di nutrienti in ingresso al lago.

Di particolare importanza ai fini di una gestione del suolo agricolo rivolta alla salvaguardia del lago è il fatto che il carico di fosforo provenga in parte dalle acque che si infiltrano nel sottosuolo all'interno del bacino imbrifero del lago ed in parte dalle acque di falda che provengono dall'esterno del bacino. Per raggiungere e mantenere uno stato di mesotrofia sarebbe necessario intervenire in maniera più incisiva e mirata tanto all'interno quanto all'esterno del bacino imbrifero, soprattutto nella parte occidentale dalla quale proviene l'alimentazione sotterranea del lago (Giussani *et al.* 2004). Potrebbe essere utile estendere la micorizzazione a tutto il suolo coltivato nel bacino idrografico, comprendendo oltre che ai seminativi anche i frutteti e i pioppeti e quei terreni con una pendenza media maggiore, maggiormente esposti al dilavamento e all'erosione (Galanti *et al.* 2004).

Inoltre, la variabilità interannuale dei valori dei parametri indicatori della qualità delle acque, messa in luce da recenti analisi della serie storica, appare legata, in questo bacino, alle fluttuazioni stagionali ed annuali del regime pluviometrico, essendo gli apporti di nutrienti dal bacino legati all'immissione attraverso la falda ed al dilavamento delle aree coltivate circostanti.

Il miglioramento della qualità ambientale del Lago di Candia non può quindi non prescindere da un incisivo cambiamento dell'uso del suolo agricolo che sia rivolto ad una drastica riduzione dei fertilizzanti, soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici in atto (Ciampittiello *et al.* 2017).

Prospettive future

In considerazione del fatto che studi sistematici completi sulla parte biologica, chimica e fisica non sono stati più svolti dal 2011, risulta di primaria importanza cercare nuove fonti di finanziamento, progetti e azioni per riprendere gli studi interrotti. Tale necessità nasce sia dalle nuove problematiche emergenti (es. fioriture algali) sia dai cambiamenti climatici che pongono questo ambiente ancora di più in una condizione di vulnerabilità rispetto ai problemi di eutrofizzazione. Il Lago di Candia si presta infatti ad uno studio a lungo termine volto a valutare gli effetti della variabilità meteo-climatica sullo stato trofico, sulle comunità planctoniche e sui molluschi bivalvi, e a valutare eventuali interventi di biomanipolazione in lago e sperimentazione sul bacino imbrifero. Rappresenta un laboratorio naturale a cielo aperto dove gli effetti possono essere seguiti nel tempo e valutati in modo approfondito.

Abstract

Lake Candia is part of the Dora Baltea River drainage basin. It is an inter-morainic lake, with a shoreline length of 5.5 km, a maximum depth of 7.7 m and an average depth of 4.7 m. First information on lake's chemistry dates back to mid seventies, when CNR-IRSA classified the lake as mesotrophic (total phosphorus concentration ranged between 21 and 60 $\mu\text{g l}^{-1}$). The lake eutrophication was caused by the internal loading as well as by the input of nutrients with the runoff processes.

Since 1985, the lake was studied intensively and continuously by CNR-ISE, which collected data on water physics, chemistry and biology. A recovery intervention, based on trophic chain biomanipulation and management of aquatic vegetation, started in 1986, aimed at reducing the algal biomass. The first step was the reduction of planktivorous fishes, in order to decrease their predation impact on zooplankton, giving, as a consequence, an higher predation pressure on phytoplankton (top-down control); the second step was the harvesting of aquatic macrophytes, in order to reduce the amount of nutrients available for phytoplankton growth after the decomposition of aquatic vegetation (bottom-up control). This intervention demonstrated that it is possible to improve the trophic status of a lake through

a scientific management of some key components of the lacustrine food-web: between 1985 and 1992 the phytoplankton biomass underwent a 50% decrease and the TP concentration reached about $30 \mu\text{g l}^{-1}$ as annual average. The most recent analysis of the long-term data set shows an interannual variability of the parameters, indicating the water quality: this seems to be related with the fluctuations of the rainfall regime, which, on its turn, affects the supply of nutrients to the lake, because most of the phosphorus input comes from the runoff of the cultivated areas and from groundwater sources. Therefore, Lake Candia seems a proper lacustrine environment for investigating the effects of the meteo-climatic variability on the planktonic assemblages.

Ringraziamenti

Si ringrazia tutto il personale tecnico-scientifico, gli studenti e i collaboratori che hanno partecipato alle attività nel sito e che con il loro lavoro hanno contribuito alla continuità delle ricerche.

Autori

Roberta Piscia, Monica Beltrami, Igor Cerutti, Marzia Ciampittiello, Claudio Foglini, Diego Fontaneto, Silvia Galafassi, Paola Giacomotti, Piero Guilizzoni, Mattia Iaia, Andrea Lami, Dario Manca, Marina Manca, Nicoletta Riccardi, Arianna Orrù, Michela Rogora, Paolo Sala, Gabriele A. Tartari, Pietro Volta, Silvia Zaupa

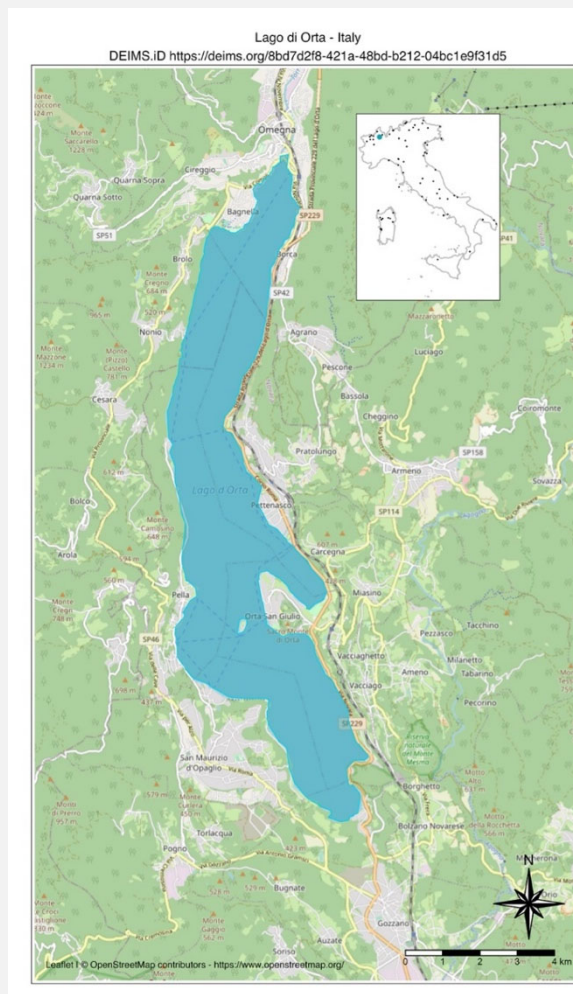
Affiliazione

Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Pallanza (VB)

Sigla: IT08-003-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/8bd7d2f8-421a-48bd-b212-04bc1e9f31d5>

Responsabile sito: Roberta Piscia



Coordinate geografiche (deims.id): 45,818 N;
8,400 E

Localizzazione: Regione Piemonte

Altitudine: 290 m s.l.m.

Area lago: 18 km²

Area bacino imbrifero: 116 km²

Perimetro: 33,5 km

Profondità media e massima: 70,9 m, 143 m

Volume: $1,3 \times 10^9$ m³

Tempo teorico di ricambio idrico: 10,7 anni

Stato trofico: oligotrofo

Tematiche di ricerca: Evoluzione della qualità delle acque del lago, dinamiche dei popolamenti planctonici, bentonici e ittici, effetti dei cambiamenti climatici, biodiversità, paleolimnologia, monitoraggio ad alta frequenza

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 7 - Lago d'Orta. Foto, Walter Zerla

Il Lago d'Orta (Figg. 7 e 8) è l'unico grande lago prealpino interamente piemontese e fa parte delle provincie di Verbania (sponda orientale) e di Novara (sponda occidentale). Ha una forma stretta ed allungata in direzione nord-sud e il suo bacino imbrifero (116 km²) appartiene a quello del vicino Lago Maggiore. È il settimo lago italiano per profondità (143 m) e per volume (1286 x 10⁶ m³). Peculiarità di questo lago è quella di avere un deflusso inverso in quanto l'effluente (Niguglia) è posto a nord. Il Lago d'Orta è stato oggetto di studio sin dalla seconda metà dell'800 (Pavesi 1884), ma le prime indagini sistematiche risalgono agli anni '30 del secolo scorso. Originariamente oligotrofo e ricco di pesci, il Lago d'Orta è stato oggetto di un pesante inquinamento di origine industriale a partire dal 1926. In breve tempo gli effetti tossici delle ingenti quantità di solfato di rame e di ammonio scaricate in lago furono evidenti, tanto che già nel 1930 il lago veniva definito "sterile" (Monti 1930). Dagli anni '60 l'ossidazione biochimica dell'ammonio nel lago provocò l'acidificazione delle sue acque. A partire dagli anni '80 vennero ridotti drasticamente i carichi di inquinanti nel lago grazie all'introduzione di impianti di depurazione, ma solo all'inizio degli anni '90 si osservò il completo recupero chimico a seguito dell'intervento di *liming* ad opera del CNR-Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi (1989-1990). Come ci si poteva aspettare, il recupero della componente biologica non è stato altrettanto rapido, ma oggi, dopo trent'anni, è possibile affermare che lo stato ecologico del Lago d'Orta è enormemente migliorato e del tutto simile alle condizioni originarie anteriori all'inquinamento (Calderoni & Tartari 2001).

La stazione limnologica usuale sul Lago d'Orta è quella di Qualba in corrispondenza della zona di massima profondità. I campionamenti per le indagini limnologiche sono stati svolti con frequenza variabile (prevalentemente mensili dagli anni '70 al 2000, stagionali negli anni successivi) dal CNR IRSA

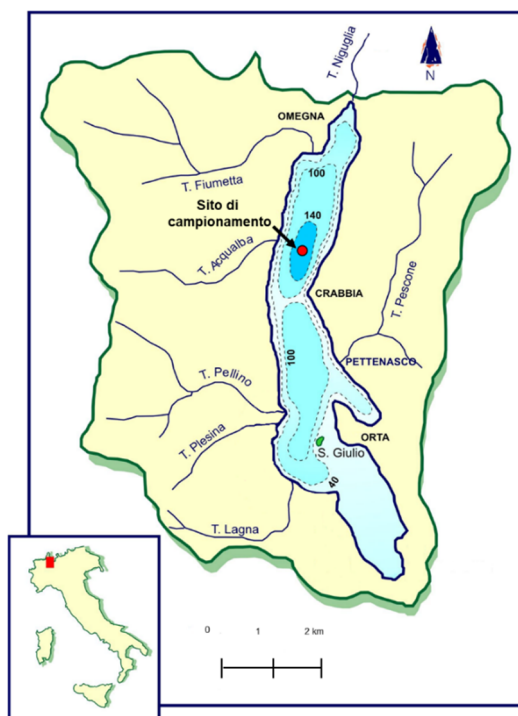


Fig. 8 - Mappa del Lago d'Orta nella quale è indicato il sito di campionamento

di Verbania considerando diverse profondità lungo la colonna d'acqua. Le serie di dati a lungo termine comprendono dati meteorologici misurati in continuo, idrologia dei tributari, limnologia fisica (termica lacustre, trasparenza, profondità di mescolamento), idrochimica del lago e dei tributari (pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti, ossigeno disciolto), clorofilla, fitoplancton, zooplancton.

La comunità ittica è monitorata ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE) e recentemente è stata oggetto di interventi di conservazione e/o ripopolamento, all'interno di due progetti specifici: ITTIORTA, finanziato dal Demanio Lacuale, e Dal Mare All'Orta, finanziato da Fondazione Cariplo. Il primo è focalizzato sul lago, il secondo sull'emissario Strona, proponendosi di ripristinare la connessione ecologica con il Fiume Toce e il Lago Maggiore mediante interventi di deframmentazione delle briglie presenti lungo il suo corso.

Il rinvenimento casuale nel 2015 di una popolazione di molluschi bivalvi nativi, che aveva spontaneamente ricolonizzato una piccola area del litorale del lago, ha stimolato ricerche per la verifica della provenienza degli individui fondatori e della data di insediamento. La popolazione rinvenuta è monitorata ed è oggetto di ricerche ecotossicologiche e sclerocronologiche.

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano l'evoluzione della qualità delle acque del lago, con particolare riferimento all'acidificazione, all'inquinamento da metalli pesanti e successivo recupero, alle dinamiche dei popolamenti planctonici, bentonici e ittici, agli effetti dei cambiamenti climatici, alla biodiversità, alla paleolimnologia e al monitoraggio ad alta frequenza.

Risultati

L'analisi delle serie storiche ben testimonia il percorso evolutivo a cui il Lago d'Orta è andato incontro a seguito dell'inquinamento di origine industriale (Manca & Comoli 1995; Guilizzoni *et al.* 2001; Piscia *et al.* 2012; Piscia *et al.* 2016a, 2016b; Vignati *et al.* 2016).

A partire dall'inizio degli anni '50 del secolo scorso, infatti, le analisi idrochimiche hanno evidenziato un aumento dell'azoto nitrico e degli ioni rame e dai primi anni '60 un accumulo di azoto ammoniacale e la diminuzione dei valori di pH (Picotti 1957; Corbella *et al.* 1958; Vollenweider 1963; Mosello *et al.* 1989; Calderoni *et al.* 1992; Calderoni & Tartari

2001). Contemporaneamente le indagini sulle componenti planctoniche evidenziavano l'esistenza di una comunità biologica scarsamente strutturata, dominata da poche specie (Vollenweider 1963; Bonacina 1970; Barbanti *et al.* 1972; Bonacina & Bonomi 1984). Grazie all'interruzione degli scarichi industriali a partire dal 1986 è stata registrata una diminuzione della concentrazione di ammonio nella colonna d'acqua, tuttavia il pH era ancora molto acido e la riserva alcalina era assente (Bonacina *et al.* 1986; Mosello *et al.* 1986a, 1986b; Bonacina *et al.* 1988a, 1988b). Solo dopo l'immissione in lago di 10900 t di carbonato di calcio (intervento di *liming*, maggio 1989 – giugno 1990) sono stati rilevati valori di pH intorno alla neutralità e contemporaneamente l'abbattimento delle concentrazioni dei metalli pesanti nella colonna

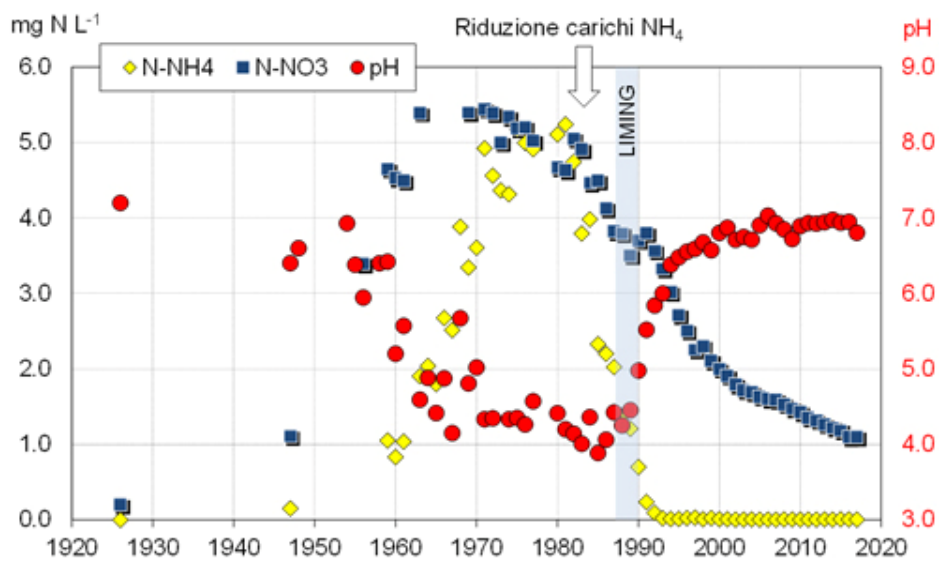


Fig. 9 - Andamento dei valori di pH, ammonio (N-NH₄) e nitrati (N-NO₃) nelle acque del Lago d'Orta nelle diverse fasi dell'inquinamento e del recupero

d'acqua. Tale intervento ha anche consentito il ripristino della riserva alcalina nei 10 anni successivi (Fig. 9; Bonacina *et al.* 1988b, Calderoni *et al.* 1990; Mosello *et al.* 1991; Calderoni & Tartari 2001).

Il recupero chimico del lago ha consentito il graduale ripopolamento della colonna d'acqua da parte degli organismi fitoplanctonici e zooplanctonici e l'instaurarsi nei 25 anni successivi al *liming* di comunità strutturate e stabili (Bonacina & Pasteris 2001; Morabito *et al.* 2001, Morabito *et al.* 2016; Cattaneo *et al.* 2011; Baudo *et al.* 2001; Piscia *et al.* 2016b; Riccardi *et al.* 2016; Volta *et al.* 2016). Una certa criticità è stata comunque riscontrata dalle analisi di carote di sedimento nei riguardi di alcuni elementi in traccia (es. Hg, Cu) (Baudo & Beltrami 2001; Vignati *et al.* 2016).

L'abbattimento dei metalli dalla colonna d'acqua ai sedimenti ha ulteriormente aumentato la tossicità dei sedimenti, ostacolando la ricolonizzazione e la ricostituzione di una comunità bentonica. Poiché gli organismi bentonici sono difficilmente proponibili per ottenere finanziamenti per il monitoraggio o per il ripopolamento, non esistono dati per una valutazione né di lungo termine, né attuale delle condizioni chimiche e biotiche del comparto bentonico. Il rinvenimento nel 2014 di una popolazione di bivalvi (*Unio elongatulus*) in un'area ristretta in corrispondenza dell'insediamento produttivo che per primo ha determinato l'inquinamento, è stato ampiamente divulgato (conferenze, convegni, scuole, Club di servizio, Associazioni Ambientaliste, etc.) per attirare l'attenzione sul problema, assolutamente trascurato, delle condizioni dei sedimenti. Poiché sono pochi i casi documentati di ricolonizzazione spontanea di bivalvi in ambienti non connessi con popolazioni potenzialmente donatrici, e, nel caso particolare, in sedimenti lacustri ad elevate concentrazioni di metalli tossici, la divulgazione ha ricevuto ampia eco sia sulla stampa locale che nazionale. Inoltre, un gruppo di volontari del FAI e l'Ecomuseo del Lago d'Orta hanno fortemente amplificato gli effetti della divulgazione sia tramite l'inserimento di voci in Wikipedia (a cura dei gruppi wikipediani italiano e svizzero), che tramite la candidatura del progetto di *bioremediation* dei sedimenti (RIS-ORTA) nel concorso FAI "I luoghi del Cuore". L'iniziativa ha raccolto un numero di firme molto elevato a livello locale, nazionale ed internazionale, ottenendo in tal modo una sensibilizzazione a larga scala.

I dati recenti per il monitoraggio dei parametri idrochimici e dei popolamenti fito e zooplanctonici sono stati acquisiti nell'ambito del progetto ITTIORTA, iniziato nel 2015 e tuttora in corso. Tali dati hanno evidenziato una sostanziale stabilità dei parametri idrochimici. Da segnalare la diminuzione costante di concentrazione dell'ossigeno negli strati profondi (al di sotto dei 120 m) a partire dal 2013 a seguito di una maggiore stabilità termica e quindi di circolazioni invernali incomplete. Questa tendenza, riscontrata anche negli altri laghi profondi subalpini, è una evidente conseguenza del riscaldamento delle acque e degli effetti dei cambiamenti climatici sulle dinamiche lacustri.

Scopo principale del progetto ITTIORTA è il ripopolamento delle acque pelagiche di due specie ittiche presenti nel lago prima dell'inquinamento: l'agone (*Alosa agone*) e il coregone lavarello (*Coregonus lavaretus*). Attualmente sono stati immessi in vari punti del lago circa 3 milioni di avannotti di lavarello e, sulla base delle numerose catture di coregone lavarello da parte dei pescatori ricreativi, sembra che la popolazione abbia raggiunto una struttura di taglia tale da garantire una soddisfacente riproduzione naturale.

Il monitoraggio e il ripopolamento sono stati affiancati anche da numerose attività di divulgazione svolte presso le scuole del territorio e attraverso vari convegni, volti alla sensibilizzazione della popolazione locale sull'importanza della qualità ecologica del lago. Inoltre sono state svolte numerose tesi di laurea e dottorato in collaborazione con varie università.

Nel 2010 sono stati raccolti e analizzati parametri idro-morfologici ottenuti con l'applicazione del metodo LHS (Lake Habitat Survey) (es. artificialità delle sponde, vegetazione spondale e litorale, caratteristiche fisiche delle sponde e della zona litorale, etc.). L'elaborazione dei dati idro-morfologici ha permesso di determinare due indici specifici, l'indice di qualità LHQA (Lake Habitat Quality Assessment) e l'indice di alterazione morfologica LHMS (Lake Habitat Modification Score). Se rapportati a quelli calcolati per altri laghi italiani, questi due indici hanno dato informazioni importanti sulla qualità degli habitat e la qualità morfologica del Lago d'Orta che risulta avere una elevata qualità degli habitat ma

un'altrettanta elevata alterazione morfologica, data soprattutto dalla presenza di lunghi tratti artificializzati di sponda con presenza di case, darsene, attracchi e spiagge attrezzate.

Il Lago d'Orta è stato oggetto di due progetti recenti aventi come tema principale il monitoraggio ad alta frequenza di parametri limnologici e meteorologici mediante sensori: il progetto SAILING (Sensor-based Assessment on In Lake processes and water quality – Scientific Investigation and Growing environmental awareness) e il progetto POR-FESR PITAGORA (Piattaforma Interoperabile Tecnologica per l'Acquisizione, la Gestione e l'Organizzazione dei dati Ambientali; <http://www.progettopytagora.it>; 2014-2015). Nell'ambito di PITAGORA è stata installata sul lago una boa equipaggiata con una stazione meteorologica e con sensori per il rilevamento di alcuni parametri di base quali temperatura delle acque, pH, conducibilità e ossigeno disciolto.

Il Lago d'Orta è stato oggetto nel 2015 di un Volume speciale della Rivista Journal of Limnology, dedicato alle fasi recenti del recupero del lago ed al confronto con altri ambienti sottoposti a interventi di liming. Il Volume è disponibile al seguente link: <https://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/issue/view/56>.

Prospettive future

Le ricerche future sul Lago d'Orta prevedono la prosecuzione del progetto ITTIORTA nelle sue diverse attività, con l'avvio, a partire dal 2019, del ripopolamento con avannotti di agone, la cui riproduzione artificiale, svolta presso l'impianto ittiogenico del CNR di Verbania, è da considerarsi del tutto sperimentale. A queste attività si affiancheranno indagini volte a stabilire l'impatto dei cambiamenti climatici sull'ecosistema lago, a rilevare gli impatti antropici sui parametri idrochimici e sulle comunità biotiche e l'impatto sull'ecosistema dell'invasione di specie non indigene a tutti i livelli della catena alimentare. È in fase di realizzazione la ricolonizzazione dell'intero perimetro lacustre tramite traslocazione di bivalvi (*Unio elongatulus*) da popolazioni geneticamente simili di laghi limitrofi e l'implementazione di sistemi di allarme in situ per il biomonitoraggio in tempo reale (Biological Early Warning Systems) basati sulle risposte comportamentali dei bivalvi ai fattori di disturbo. È in programma la traslocazione incrociata di bivalvi tra il Lago d'Orta e due laghi limitrofi con livello trofico differente per verificare gli effetti delle condizioni chimiche (concentrazione di metalli e di calcio) sull'accrescimento e sul bioaccumulo tramite analisi sclerocronologica dei gusci. Lo studio mira a validare il tasso di accrescimento dei bivalvi come *endpoint* ecotossicologico e l'uso della sclerocronologia delle conchiglie d'acqua dolce come indicatore nel monitoraggio ambientale.

Infine proseguiranno gli interventi finalizzati alla deframmentazione fluviale dell'Emissario Torrente Strona, ovvero al ripristino della continuità del corridoio acquatico tramite la realizzazione di passaggi per pesci. Gli effetti sulla comunità ittica lacustre di tali interventi (migrazioni dal Lago Maggiore al Lago d'Orta e viceversa) saranno monitorati mediante il posizionamento di una stazione di rilevazione automatica del passaggio di pesci marcati con microchip a tecnologia RFID (Radio-Frequency Identification Tags).

Abstract

Lake Orta is the only large and deep subalpine lake that belongs entirely to the Piedmont Region, in Italy. Lake Orta has a narrow and elongated shape along the north-south direction and its catchment basin (116 km²) belongs to that of the nearby Lake Maggiore. It is the seventh Italian lake for depth (143 m) and volume (1286 x 10⁶ m³). A reverse flow characterizes Lake Orta because its effluent (Niguglia) is located in its northern part. Lake Orta has been studied since 1879 (studies by Prof. P. Pavesi), but the first systematic researches began in 1930s. Originally oligotrophic and rich in fish, since 1926 Lake Orta underwent a heavy industrial pollution. Shortly, the toxic effects of the huge amounts of copper and ammonium sulphate discharged into the lake has been evident, so that already in 1930 the lake was defined "sterile". Gradually, the biochemical oxidation of ammonium in the lake has caused the acidification of its waters. Since 1980s the load of pollutants in the lake has been drastically reduced thanks to the establishment of treatment plants, but only at the beginning of the '90s the chemical recover

was complete following the liming intervention made by CNR – Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi (1989 – 1990). The restoration of the biological components has not been so quick, but today, after almost thirty years, it is possible to state that the ecological quality of Lake Orta has greatly improved and it is very similar to the pristine conditions. Some problems are still found in the concentration of some trace elements (e.g. Hg, Cu) in sediments cores. Since the 1950s, long-term series of limnological data (meteorological, hydrological, physical, chemical, biological and sedimentary data) have been collected. Along years, the main LTER researches focused on: long-term evolution of lake water quality in relation to acidification and heavy metal pollution and the following recovery, dynamics of biological communities, effects of climate changes, biodiversity changes, paleolimnology and high frequency monitoring.

Ringraziamenti

Le ricerche nel sito Lago d'Orta (LTER_EU_IT_042) sono in parte finanziate dal Demanio Lacuale e dalla Fondazione Cariplo. Si ringrazia tutto il personale tecnico-scientifico del CNR IRSA e gli studenti coinvolti nelle campagne limnologiche e nelle ricerche a lungo termine sul Lago d'Orta.

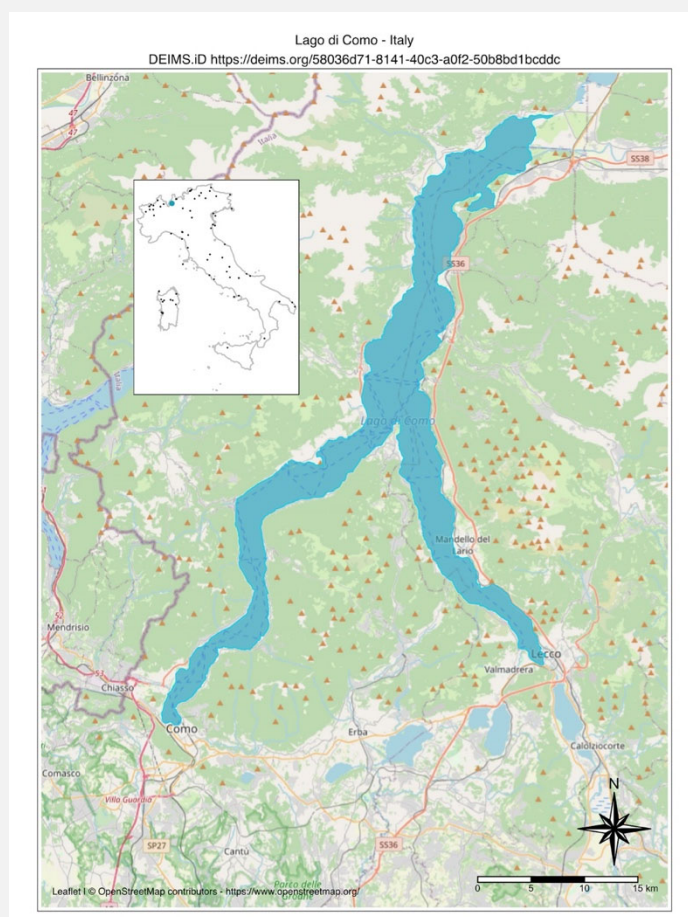
Autori

Fabio Buzzi

Affiliazione

ARPA Lombardia, Dipartimento di Lecco, Via I Maggio, 21/b, I-23848 Oggiono (LC), Italy.

Sigla: IT08-004-A



DEIMS.ID: <https://deims.org/58036d71-8141-40c3-a0f2-50b8bd1bcd1c>

Responsabile Sito: Fabio Buzzi

Coordinate geografiche (deims.id): 45.997N;
9.258E

Localizzazione: Lombardia

Altitudine: 198 m s.l.m.

Area lago: 145 km²

Area bacino imbrifero: 4508 km²

Perimetro: 170 km

Profondità media: 155 m

Profondità massima: 425 m

Volume: 22,5×10⁹ m³

Tempo teorico di ricambio: 4,4 anni

Stato trofico: meso-eutrofico

Tematiche di Ricerca: evoluzione trofica, dinamiche popolamenti
planctonici, effetti dei cambiamenti climatici, biodiversità, specie
invasive, telerilevamento, modellistica

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 10 - Lago di Como

Il Lago di Como, o Lario (Figg. 10 e 11) suddivisibile in tre sottobacini caratterizzati da differenze morfologiche e idrodinamiche. In particolare, i tempi di ricambio delle acque dei bacini orientale e occidentale sono molto differenti; l'assenza di un emissario, la profondità elevata (425 m) e la presenza di una soglia determinano, per il bacino occidentale, un ricambio idrico più lento, rendendo lo stesso molto più vulnerabile all'immissione di carichi di nutrienti e sostanze inquinanti. La stazione LTER oggetto di campionamenti effettuati con frequenza mensile è quella di Dervio, mentre quella di

Argegno, punto di massima profondità, viene campionata con frequenza bimensile.

Le ricerche condotte da ARPA Lombardia sono soprattutto finalizzate alla valutazione dello stato trofico del lago e della qualità delle acque anche in funzione dei criteri definiti dalla Water Framework Directive (stato ecologico). L'ampio ventaglio di collaborazioni ha inoltre permesso di attivare una serie di ricerche volte all'approfondimento di specifiche tematiche, tra cui la valutazione della biodiversità lacustre mediante l'applicazione di tecniche NGS, la rilevazione di dati ad elevata frequenza, e la modellistica, per citarne alcune (cf. sezioni seguenti).

Inquadramento storico e attuale delle ricerche

Il Lago di Como era originariamente oligotrofo, così come risulta dagli studi paleolimnologici effettuati (Marchetto e Bettinetti 1995). Le prime informazioni, di tipo qualitativo, relative ai popolamenti planctonici, risalgono agli anni 1924-25 quando, in condizioni di oligotrofia, furono segnalate fioriture dei cianobatteri *Dolichospermum (Anabaena) flosaquae* e *Microcystis aeruginosa* la cui estensione riguardò tutti i sottobacini. Il processo di eutrofizzazione ha portato ad un incremento delle concentrazioni dei nutrienti algali a partire dagli anni '60 fino al raggiungimento dei valori massimi negli anni '80 con $80 \mu\text{g L}^{-1}$ di fosforo totale rilevati nella stazione di Como. In questa fase il popolamento fitoplanctonico ha subito notevoli variazioni nella sua composizione specifica con la graduale crescita di importanza di alcune specie quali *Planktothrix rubescens*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Fragilaria crotonensis* e *M. aeruginosa*, protagonista quest'ultima di una estesa fioritura nel 1983 a Como (Mosello *et al.* 1991). I dati relativi alla comunità zooplanctonica hanno indicato un aumento di Cladoceri, soprattutto *Eubosmina coregoni* (Parise e Riva 1982). La riduzione dei carichi di fosforo avvenuta negli anni successivi ha portato



Fig. 11 - Mappa batimetrica del Lago di Como

ad una diminuzione dei valori di biovolume algale in corrispondenza ad una minore disponibilità di nutrienti, $46 \mu\text{g P L}^{-1}$ nel bacino ovest e $40 \mu\text{g P L}^{-1}$ nell'asse Colico-Lecco (Chiaudani e Premazzi 1993). Anche la comunità zooplanctonica ha fatto segnare una diminuzione della densità dei Cladoceri (*E. coregoni* e *Daphnia hyalina*) ed un aumento di quella dei Copepodi Diaptomidi (*Eudiaptomus padanus*) (Chiaudani & Premazzi 1993). Nel periodo successivo si segnala un'ulteriore diminuzione della concentrazione di fosforo totale, fino a $35 \mu\text{g P L}^{-1}$ nel 1999; tale diminuzione però non causa variazioni significative nella composizione specifica delle comunità fitoplanctoniche (Bettinetti *et al.* 2000; Mosello *et al.* 1999; Mosello *et al.* 2001; Buzzi 2002). In questo periodo si è distinta come specie significativa *P. rubescens*, che ha raggiunto densità cellulari pari a $50000 \text{ cell ml}^{-1}$ nella stazione di Como. Dal 2000 si è verificata una serie di episodi di fioriture superficiali di cianobatteri con una frequenza che è aumentata negli ultimi anni. In alcuni casi le fioriture erano contenute e limitate ad alcune zone. Negli anni 2000, 2003, 2006, 2016 (settembre solo nel ramo occidentale) si sono verificate fioriture di *Microcystis aeruginosa/wesenbergii*. Mentre nel 2006, 2010, 2011, 2012, 2013, 2016 le fioriture sono state causate (Luglio) da *Dolichospermum lemmermannii*. L'episodio del 2013 è stato molto esteso con biovolumi elevati ed elevate concentrazioni di Chl *a* in superficie pari a 141 mg L^{-1} .

Risultati

La situazione del Lago di Como denota una sostanziale inerzia dal punto di vista degli impatti dovuti ai carichi di nutrienti. Le concentrazioni di fosforo nella colonna d'acqua sono rimaste sostanzialmente invariate negli ultimi decenni, oscillando attorno a valori piuttosto lontani da quelli previsti come obiettivo dal Programma di Tutela ed Uso delle Acque (PTUA) del 2016. La concentrazione obiettivo di fosforo totale prevista dal PTUA per il Lago di Como al 2027 è di $14 \mu\text{g L}^{-1}$ P. Come esposto nei paragrafi precedenti, le concentrazioni di fosforo totale nei due corpi idrici per

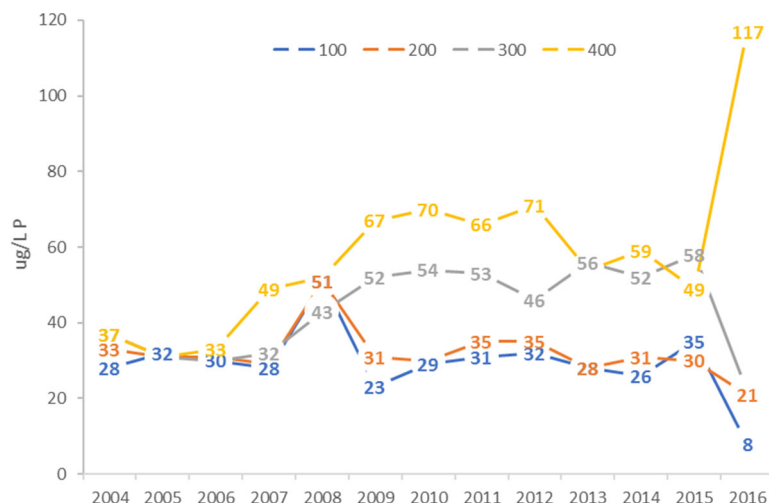


Fig. 12 - Andamento dei valori di concentrazione di fosforo totale nella stazione di Argegno alla circolazione primaverile alle profondità di 100, 200, 300, 400 metri

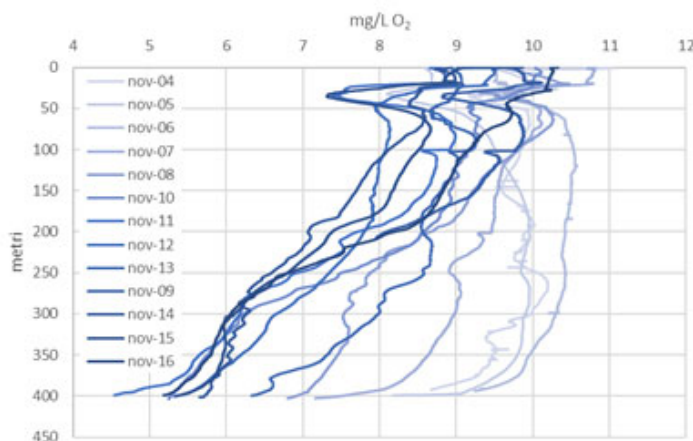


Fig. 13 - Profili della concentrazione di ossigeno disciolto a fine stratificazione ad Argegno (Lago di Como) dal 2004 al 2016

il triennio 2014-2016 sono state pari a 35 e $28 \mu\text{g L}^{-1}$ P, rispettivamente per il corpo idrico occidentale e per quello orientale. È evidente che per potere raggiungere le concentrazioni previste dal PTUA è necessario operare interventi per la riduzione dei carichi, soprattutto per quanto riguarda la parte meridionale del corpo idrico occidentale. È altresì necessario che vengano determinati con maggiore precisione i reali carichi insistenti veicolati dai tributari, attraverso la raccolta di campioni integrati mediante autocampionatori e il rilevamento in continuo delle portate dei tributari stessi. I cambiamenti climatici in atto hanno

portato ad un aumento delle concentrazioni di fosforo ed una diminuzione della concentrazione dell'ossigeno negli strati profondi (Figg. 12 e 13).

Progetti di ricerca e collaborazioni

L'acquisizione dei dati a lungo termine è stata effettuata nell'ambito delle attività di classificazione ecologica previste per il Lago di Como nel triennio 2014-2016 e nell'anno 2017, primo del triennio 2017-2019. I dati prodotti sono relativi ai parametri idrologici, meteorologici, al regime di mescolamento delle acque, alla chimica del lago, alle comunità fitoplanctoniche e zooplanctoniche.

Il Lago di Como è inserito nel progetto EOMORES il cui scopo è la sperimentazione dell'utilità di alcuni servizi e prodotti di earth observation forniti da IREA CNR, ad ARPA Lombardia come fruitore, per le attività di monitoraggio dello stato di qualità ecologica dei laghi con particolare riferimento alle fioriture algali, allo sviluppo delle comunità di macrofite ed alla presenza di torbidità minerale nei corpi idrici lacustri. L'utilizzo delle tecniche di remote sensing ha consentito la riproduzione della serie storica della temperatura delle acque di superficie del Lario validata con i dati misurati in campo in collaborazione con diversi istituti di ricerca (p. es. Pareeth *et al.* 2017).

Il Lario è inserito nel progetto INTERREG IT-CH "SIMILE", attivo da gennaio 2019, che prevede lo sviluppo e l'installazione su lago di boe per il monitoraggio ad alta frequenza di alcuni parametri selezionati, allo scopo di creare un sistema di monitoraggio integrato che utilizzi anche i dati satellitari. Le informazioni relative ai parametri chimico fisici e meteorologici verranno utilizzate per l'applicazione di modelli ecologici previsionali, quali GLM e FABM-AED.

Sono inoltre in essere attività di collaborazione con Istituto Agrario S. Michele all'Adige, Fondazione E. Mach in merito allo studio delle caratteristiche ecologiche di alcune specie fitoplanctoniche ed alle comunità microbiche dei grandi laghi sudalpini

Prospettive future

Le linee di indagine per il futuro sono legate alle attività previste dai progetti INTERREG "SIMILE" ed Eco-AlpsWater. Nel progetto SIMILE, l'elevata frequenza di acquisizione temporale e spaziale dei dati chimico-fisici, meteo e biologici consentirà di verificare l'efficacia degli interventi di riduzione dei carichi dei nutrienti in relazione ai cambiamenti climatici in atto. Le stesse informazioni consentiranno l'applicazione dei modelli ecologici in grado di simulare differenti scenari legati all'andamento del clima. Le attività svolte nel progetto Eco-AlpsWater consentiranno l'utilizzo di nuove tecniche molecolari NGS per la valutazione della biodiversità e lo studio dell'evoluzione temporale dei popolamenti fitoplanctonici. Ciò permetterà anche di operare un confronto tra i risultati ottenuti con i metodi tradizionali di microscopia e quelli molecolari anche al fine di migliorare la valutazione dello stato di qualità ecologica. La produzione di una mole così cospicua di dati porterà alla sperimentazione di nuovi metodi di valutazione statistici e matematici.

Ulteriori prospettive sono legate all'acquisizione negli anni futuri, da parte dell'agenzia, di strumentazioni tecnologiche di ultima generazione (p. es. citofluorimetri) volte ad aumentare la frequenza di acquisizione di informazioni qualitative e quantitative della comunità fitoplanctonica. Ciò consentirebbe di implementare un nuovo metodo di studio dei popolamenti fitoplanctonici che prevede l'utilizzo contestuale della tecnica classica di microscopia, dei metodi molecolari e della citofluorimetria.

Abstract

In Lake Como, only a few studies were carried out irregularly by various institutions until the end of the 1990s. Since the beginning of 2000, with the establishment of the Environmental Protection Agency of Lombardy (ARPA Lombardia), continuous monthly sampling and measurements have been carried out in order to assess the ecological status according to the Water Framework Directive, which combines the information of numerous hydromorphological, chemical and biological parameters to define the general state of functioning and structure of the ecosystem. Lake Como, originally an oligotrophic lake,

has undergone a process of eutrophication since the 1960s. Maximum eutrophication was achieved in the 1980s, when phytoplankton underwent a considerable change with the gradual increase in the importance of some toxic cyanobacteria, giving rise to large blooms in the Como sub-basin. Since the 1990s, thanks to a recovery program aimed at reducing nutrient loads and removing phosphate from detergents, an oligotrophication process has begun and the lake has reached the meso-eutrophic status.

Autori

Nico Salmaso¹, Adriano Boscaini¹, Cristina Cappelletti², Leonardo Cerasino¹, Francesca Ciutti², Monica Tolotti¹

Affiliazione

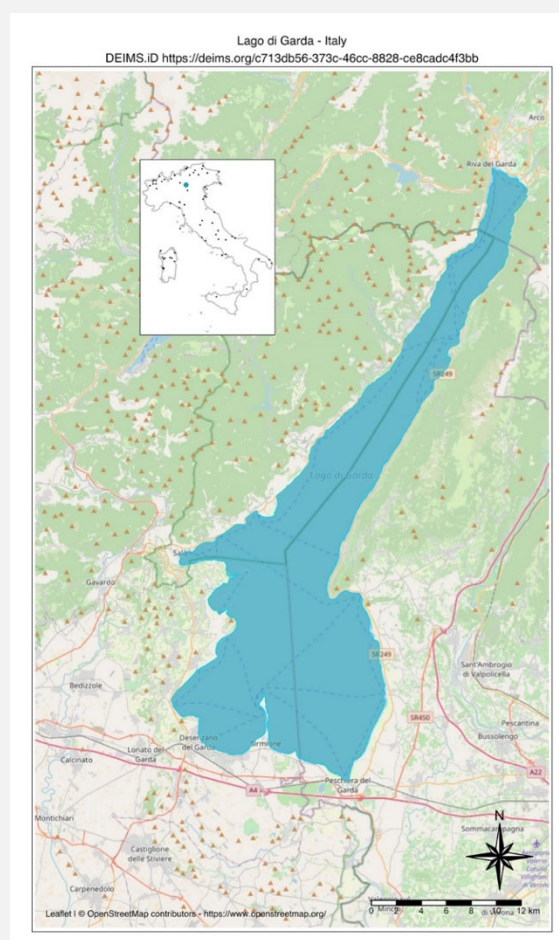
¹ Centro Ricerca e Innovazione, Fondazione Edmund Mach, Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige, Italia

² Centro Trasferimento Tecnologico, Fondazione Edmund Mach, Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige, Italia

Sigla: IT08-005-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/c713db56-373c-46cc-8828-ce8cadc4f3bb>

Responsabile sito: Nico Salmaso



Coordinate geografiche (deims.id): 45,581N;
10,621E

Localizzazione: Regioni Veneto, Lombardia,
Trentino Alto Adige

Altitudine: 65 m s.l.m.

Area lago: 368 km²

Area bacino imbrifero: 2350 km²

Perimetro: 165 km

Profondità media: 133 m

Profondità massima: 350 m

Volume: 49,03×10⁹ m³

Tempo teorico di ricambio: 26,8 anni

Stato trofico: oligo-mesotrofo

Status di protezione: Natura 2000, IT3210018 (Basso Garda)

Tematiche di Ricerca: Ecologia, limnologia, eutrofizzazione e cambiamenti climatici, biodiversità, comunità acquatiche, specie invasive, genetica e metabolomica delle alghe tossiche, paleolimnologia, telerilevamento

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 14 - Bacino occidentale del Lago di Garda – 18 dicembre 2018 (Foto, N. Salmaso)

Nell'ambito del macrosito Laghi Sudalpini, il Lago di Garda (Figg. 14 e 15) costituisce il più esteso e il più grande lago italiano. Il Garda comprende oltre il 30% del patrimonio idrico raccolto nei laghi naturali e artificiali italiani. Considerando la batimetria, il Garda appare nettamente suddiviso in due bacini – occidentale e orientale – delimitati da una dorsale sommersa che congiunge la penisola di Sirmione con Punta San Vigilio.

In corrispondenza della dorsale, la Secca del Vo, posta circa 3 km a sud-ovest di P.S. Vigilio, coincide con la zona

di minore profondità (<10 m). Nella parte valliva del bacino occidentale i fondali si sviluppano in una piattaforma di fondo lunga circa 25 km, larga poco meno di 2 km e con profondità comprese tra 300 m e 350 m. Collocato nella pianura veneta, il bacino orientale è meno ampio e meno profondo (z_{\max} tra 70

e 80 m), configurandosi, come ben descritto da Barbanti (1974), come “un'appendice non completamente inserita nel contesto morfologico del bacino principale”. Nonostante la sua estensione, questo bacino comprende solo circa il 7% del volume complessivo.

I descrittori morfometrici del Lago di Garda, calcolati per l'intero bacino e per i due sottobacini, sono riportati di seguito (Tab. 1).

Il bacino idrografico del Lago di Garda ha una superficie di 2350 km². Se confrontato con la superficie lacustre, si tratta di un bacino imbrifero relativamente piccolo, caratterizzato da un rapporto area bacino/area lago di 1/6. Il principale immissario del Garda è il Sarca, il cui bacino idrografico costituisce il 54% dell'intero bacino imbrifero. In coincidenza con occasionali eventi di piena, una frazione delle acque del Fiume Adige può essere deviata nel Garda attraverso la galleria Adige (Mori)-Garda (Torbole), con portate massime di 500 m³ s⁻¹. La galleria è stata utilizzata raramente. Alla fine di ottobre 2018, al fine di scongiurare l'esondazione dell'Adige nelle province venete, l'apertura della galleria ha determinato un apporto a lago di un volume di acqua deviata dall'Adige di poco inferiore a 20 milioni di metri cubi. L'emissario naturale del Garda è il Fiume Mincio. Fino al 1960 il fiume aveva

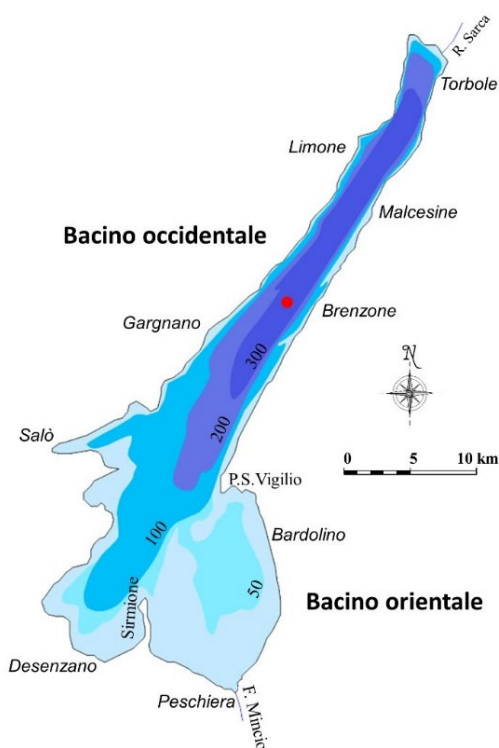


Fig. 15 - Mappa batimetrica del Lago di Garda (modificato, da Barbanti, 1974). Il cerchio rosso (45.69 N, 10.72 E) indica la stazione di ricerca LTER

una portata di circa 70-80 m³ s⁻¹. A partire dagli anni '60 furono realizzate opere di regolazione portando il deflusso medio del Mincio a poco meno di 60 m³ s⁻¹. Ulteriori informazioni per un inquadramento generale del Lago di Garda, inclusa la parte di gestione dei carichi di nutrienti, si può trovare nei numerosi capitoli del volume curato da (Bertin & Bortoli 2009).

Tab. 1 - Principali caratteristiche morfometriche dei bacini occidentale e orientale del Lago di Garda (da Barbanti 1974)

	Bacino occidentale	Bacino orientale	Bacino Completo
Area (km ²)	273	95	368
Lunghezza massima (km)	51.9	15.6	51.9
Larghezza massima (km)	11.7	9.8	16.7
Profondità massima (m)	350	81	350
Profondità media (m)	168	34	133
Volume (km ³)	45.77	3.27	49.03

Escludendo le prime osservazioni scientifiche svolte a cavallo tra il 1800 ed il 1900 (cf. Salmaso *et al.* 1997), le prime moderne indagini limnologiche sul Lago di Garda, pur se limitate a due uniche serie di campionamenti, furono effettuate nel 1951 da Marchesoni (1952). I risultati ottenuti comprendevano sia rilevazioni sul campo di profili verticali di temperatura e ossigeno disciolto sia analisi dei nutrienti algali, zooplancton e fitoplancton.

La prima serie organica di indagini condotte su base mensile fu intrapresa alla fine degli anni '60 del secolo scorso (D'Ancona *et al.* 1961; Tiso 1962; Merlo *et al.* 1961). Nel corso dello studio furono rilevate numerose variabili di interesse limnologico. Tra queste, le informazioni ottenute sulle caratteristiche fisiche delle acque e ossigeno disciolto, e sulla composizione dello zooplancton e del fitoplancton di grande taglia, costituiscono tuttora un importante elemento di paragone per la valutazione del grado di cambiamento delle caratteristiche qualitative delle acque del Garda.

È tuttavia tra il 1971 e 1972, con il lavoro curato da Gerletti (1974), che fu realizzata la prima indagine multidisciplinare sul Lago di Garda. La parte introduttiva, ancora attuale, riporta essenziali informazioni sugli aspetti geografici, geologici e climatici del lago e del bacino imbrifero. Relativamente alla parte sperimentale, le indagini permisero di ottenere informazioni sulle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, sulla struttura e composizione delle comunità biologiche (macrofite, fitoplancton, zooplancton e pesci), e sui carichi di nutrienti. I risultati costituiscono la prima base certa per un confronto con le condizioni ecologiche attuali del Garda.

A partire dagli anni '70, una serie di campionamenti annuali furono effettuati nel corso della massima circolazione primaverile da parte del CNR-Istituto Italiano di Idrobiologia; p. es. (Bonomi *et al.* 1979; Ambrosetti *et al.* 1983). Il risultato di queste indagini è costituito dalla più lunga serie storica omogenea di dati fisici e chimici disponibili, con frequenza annuale, per il Lago di Garda (Mosello *et al.* 2010).

Gli studi più recenti basati su campionamenti mensili sono stati condotti, dopo il lavoro dell'IRSA (Gerletti 1974), solo a partire dalla fine degli anni '80. Questi comprendono i lavori di Chiaudani & Premazzi (1990), le osservazioni effettuate dalla Provincia Autonoma di Trento (1992, 1995, 2000) e le ricerche limnologiche iniziate a partire dalla primavera del 1991 dal Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova (Salmaso *et al.* 2003).

Riccolgandosi agli studi iniziati nel 1991 dall'Università di Padova, le ricerche scientifiche nella zona pelagica del Garda sono condotte dal gruppo di ricerca di idrobiologia dell'Istituto Agrario di S. Michele all'Adige, Fondazione Edmund Mach (responsabile del Sito di Ricerca LTER – Lago di Garda EU-IT0-044); le ricerche sono svolte in collaborazione con l'ARPAV di Verona. Il settore che comprende la ricerca scientifica finalizzata alla rilevazione, gestione e utilizzo di dati satellitari/remote sensing è gestito dal CNR-IREA di Milano (responsabile del Sito di Ricerca LTER – Lago di Garda B-Satellite Site-Stazione di Sirmione). Nell'ambito delle attività svolte per la determinazione della qualità ecologica delle

acque del lago, specifici monitoraggi sono svolti attraverso una collaborazione tra le agenzie per l'ambiente di Verona (ARPAV), Brescia (ARPAL) e Trento (APPA).

Nell'ambito delle attività iniziate sin dal 1991 nel sito di ricerca LTER_EU_IT_044, le indagini sono svolte, in collaborazione con l'ARPAV e su base mensile, nella stazione pelagica al largo di Brenzone. Le indagini sono basate sulla raccolta di un ampio ventaglio di variabili limnologiche comprendenti sia misure sul campo (trasparenza, K_d , profili con sonde multiparametriche) sia misure effettuate su campioni raccolti a profondità discrete (superficie 10, 20, 60, 100, 150, 200, 250, 300 m e fondo). Queste ultime comprendono sia variabili chimiche e fisiche (pH, conducibilità, nutrienti algali e bilancio ionico) sia variabili biologiche (clorofilla, protisti, fito- e zooplancton, comunità batteriche, tossine algali). In relazione all'attivazione di specifici ambiti di ricerca, al complesso di dati raccolti con regolarità si possono aggiungere altri set di variabili/campioni connessi con indagini di genetica di popolazione o paleolimnologia.

Gli obiettivi della ricerca sono molteplici e fondati su un approccio multidisciplinare finalizzato alla comprensione dell'evoluzione a lungo termine della qualità delle acque e degli effetti dei cambiamenti climatici e pressioni antropiche sulle comunità biotiche e funzionalità ecosistemica. Attività specifiche comprendono: l'ecologia del fitoplancton e impatto sul lago delle variazioni delle concentrazioni di nutrienti e delle fluttuazioni climatiche a diversa frequenza temporale (aumento delle temperature lacustri e fluttuazioni climatiche interannuali valutate attraverso l'utilizzo di indici di teleconnessione); l'identificazione dei meccanismi ambientali e biotici che favoriscono lo sviluppo dei cianobatteri; l'identificazione di ceppi tossici di cianobatteri (geni codificanti cianotossine), e la misura delle concentrazioni di epato- e neurotossine e il loro impatto sullo spettro di utilizzo della risorsa acqua (per scopi potabili e ricreativi); l'evoluzione a lungo termine della comunità zooplanctonica; l'evoluzione secolare del lago attraverso lo studio paleolimnologico delle comunità a diatomee e cladoceri nei sedimenti profondi; l'individuazione e impatto sull'ecosistema lago delle specie aliene e criptogeniche. Nel corso degli ultimi anni, le indagini sono state integrate da ulteriori filoni di ricerca nell'ambito della metagenomica e metabolomica. Queste comprendono l'analisi delle comunità microbiche, cianobatteriche e di protisti mediante l'utilizzo di un approccio culture-independent, basato su tecniche di Next Generation Sequencing e amplificazione massiva di geni 16S rRNA e 18S rRNA con tecniche MiSeq Illumina. Le analisi tassonomiche ed ecologiche dei cianobatteri isolati dalle acque del Garda sono completate con analisi metabolomiche semi-untargeted effettuate con tecniche LC-MS, per la caratterizzazione di molecole bioattive.

Le attività si avvalgono del supporto delle piattaforme tecnologiche di microscopia, chimica, metagenomica e metabolomica afferenti ai gruppi di Idrobiologia, Genomica, e Biologia Computazionale della FEM, Centro Ricerca e Innovazione (<https://www.fmach.it/>).

Risultati

Le analisi a lungo termine condotte sul Lago di Garda hanno evidenziato una significativa diminuzione di fosforo nella colonna d'acqua e aumento delle temperature delle acque superficiali e profonde associato ad un significativo riscaldamento documentato su scala regionale e globale (O'Reilly *et al.* 2015; Salmaso *et al.* 2018c). La diminuzione del fosforo può essere interpretata considerando i positivi effetti della deviazione dal lago di una frazione (che rimane tuttavia ancora da identificare) di carichi di nutrienti da parte del collettore circumlacuale (Boscaini 2009). Il riscaldamento del lago ha avuto effetti importanti sulle dinamiche di stratificazione termica delle acque e sulle comunità algali, determinando una significativa diminuzione degli episodi di mescolamento completo che, di fatto, si sono interrotti dal 2006 (Fig. 16). Il persistente periodo di meromissi ha comportato un incompleto rifornimento di nutrienti dalle acque più profonde verso quelle superficiali, contribuendo all'oligotrofizzazione degli strati trofogenici (Fig. 16). Nel complesso, questi processi di "climate warming-induced oligotrophication" (Salmaso *et al.* 2018c) sono fortemente mediati dalle caratteristiche fisiografiche tipiche dei laghi profondi, costituendo un tratto comune in tutti i grandi laghi sudalpini (Salmaso *et al.* 2014; Rogora *et al.* 2018; Viaroli *et al.* 2018). D'altra parte, il miglioramento dello stato ecologico del lago indotto da questi processi di meromissi

transitoria è solo apparente e precario, determinando un accumulo di nutrienti negli strati più profondi e una forte situazione di rischio in caso di eventi di circolazione completa.

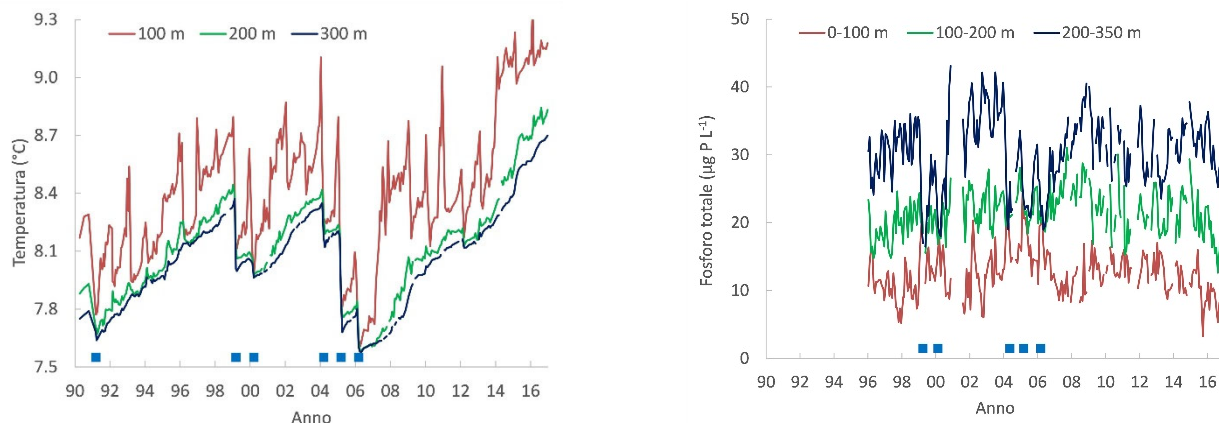


Fig. 16 - Dinamica temporale delle temperature dell'acqua e del fosforo totale nel Lago di Garda. I quadrati blu indicano gli anni di completo mescolamento

La diminuzione dei nutrienti algali negli strati eufotici indotta dal lungo periodo di meromissi ha avuto conseguenze importanti nello sviluppo a lungo termine dei cianobatteri, determinando un consistente declino di *Planktothrix rubescens* (una tipica specie mesotrofa), specialmente dalla metà degli anni 2000. Nel contempo, alla diminuzione di questo gruppo ha fatto seguito la comparsa di altri cianobatteri tossigenici (vedi oltre) e l'aumento – favorito anche dal riscaldamento – di diverse specie mixotrofiche appartenenti alle dinoflagellate e criptoficee. In particolare, molti dinoflagellati mixotrofi presentano caratteristiche favorevoli per la crescita in ambienti caldi e poveri di nutrienti, potendo costituire uno dei gruppi più competitivi in un contesto di riscaldamento climatico.

Il lungo periodo di meromissi identificato nel Lago di Garda è stato associato a importanti modificazioni nei modi di circolazione atmosferica su scala continentale. In particolare, il riscaldamento delle acque è coinciso con un aumento dei valori invernali dell'East Atlantic pattern (EA_{DF}), un indice di teleconnessione rilevante per tutto il Nord Atlantico e il continente europeo. Valori positivi dell' EA_{DF} sono infatti associati a inverni più miti; al contrario, valori minori o negativi sono strettamente associati all'afflusso di aria fredda dalle regioni continentali verso il Nord Italia e il Mediterraneo (Salmaso *et al.* 2018b).

Una parte rilevante dell'attività è stata indirizzata all'identificazione delle principali specie tossigeniche di cianobatteri nel Lago di Garda e negli altri grandi laghi sudalpini. A questo riguardo, le ricerche hanno



Fig. 17 - *Tychonema bourellyi*, Lago di Garda, campione in coltura isolato nel marzo 2014, 400× (Shams *et al.* 2015)

richiesto la messa a punto di specifiche strategie di indagine, basate su un approccio multidisciplinare fondato sia sull'utilizzo di metodi classici di indagine limnologica, sia su tecniche genetiche e metabolomiche. Le indagini hanno permesso di verificare il progressivo aumento dell'importanza di una nuova specie, *Tychonema bourellyi*, che, fino al 2014, non era mai stata documentata (Shams *et al.* 2015) (Fig. 17). La recente scoperta di *Tychonema* non è sufficiente per includere questo cianobatterio tra le specie alloctone. Piuttosto, *Tychonema* dovrebbe essere considerato un organismo "criptogenetico", cioè una specie che non è né nativa né esotica e le cui

origini sono sconosciute, non dimostrate in modo inequivocabile o, anche, oggetto di precedenti errate identificazioni (Kokociński *et al.* 2017). Le indagini genetiche e filogenetiche hanno permesso di documentare la presenza di questa specie non solo nel Garda, ma anche nei laghi di Iseo, Como e Maggiore; in quest'ultimo lago, la presenza di filamenti associabili a *Tychonema* era già stata suggerita dopo il 2005 (CNR-ISE 2007). Attualmente, nel Lago di Garda *T. bourrellyi* è presente con biomasse comparabili, se non superiori, a quelle di *P. rubescens*. Queste due specie, oltre ad avere caratteristiche ecologiche del tutto diverse (per *Planktothrix*, si veda D'Alelio *et al.* 2011), producono anche tossine diverse. Le analisi svolte con tecniche LC-MS hanno dimostrato la produzione di microcistine (in particolare i congeneri RRdm e LRdm) da parte di *P. rubescens* e di anatoxina-a e omoanatoxina-a (due potenti neurotossine) da parte di *T. bourrellyi* (Shams *et al.* 2015; Salmaso *et al.* 2016; Cerasino *et al.* 2017). La tossicità di *T. bourrellyi* è stata ulteriormente confermata dall'identificazione nella maggioranza dei ceppi isolati nei laghi di Garda, Iseo, Como e Maggiore di almeno due geni, *anaC* e *anaF*, appartenenti al cluster genico codificante l'anatoxina-a (Shams *et al.* 2015; Salmaso *et al.* 2016). La scoperta della tossicità in *Tychonema* ha permesso di inserire recentemente questa specie nella lista dei cianobatteri tossici oggetto di monitoraggio e valutazione del rischio a livello europeo (Bernard *et al.* 2017).

Da evidenziare inoltre la messa a punto di sistemi di monitoraggio rapidi basati sull'utilizzo di tecniche di real time qPCR (Capelli *et al.* 2018) e il sequenziamento del genoma di un ceppo di *T. bourrellyi* isolato nelle acque del Garda (Pinto *et al.* 2017). Sempre in questo ambito di ricerca, sono state avviate indagini per la comprensione e caratterizzazione degli eventi di fioriture algali dovuti a *Dolichospermum lemmermannii* nei grandi laghi a sud delle Alpi. Nello specifico, sono state analizzate la biogeografia di ceppi di *D. lemmermannii* isolati in diversi laghi europei (Capelli *et al.* 2017), le caratteristiche metabolomiche (Cerasino *et al.* 2017), le caratteristiche genetiche ed ecologiche di ceppi isolati nei grandi laghi a sud delle Alpi (Salmaso *et al.* 2015b) e, utilizzando tecniche di paleolimnologia e resurrection ecology, le dinamiche di colonizzazione storica di *Dolichospermum* nel Lago di Garda (Salmaso *et al.* 2015a). Dal punto di vista gestionale, e a differenza di numerosi ceppi isolati nelle regioni centro e nord europee, i ceppi di *Dolichospermum* isolati dai laghi profondi sudalpini sono sempre risultati negativi per la presenza di tossine e geni codificanti tossine. Nel complesso, i risultati ottenuti hanno permesso da una parte di chiarire il rischio derivante dalla presenza di alghe tossiche nel Garda e nei grandi laghi sudalpini, e dall'altra di fornire indicazioni per la gestione delle risorse acquatiche, specialmente in relazione all'utilizzo per scopi di balneazione e ricreazione, e potabili.

Un confronto tra le popolazioni di zooplanton individuate alla fine degli anni '90 e quelle rilevate nei decenni precedenti è stata effettuata da Salmaso & Naselli-Flores (1999). Le uniche differenze documentabili e consolidate includevano la scomparsa di *Sida cristallina* dagli anni '50 e l'apparizione di nuovi rotiferi dagli anni '70 e '80. Più recentemente, le variazioni dei cladoceri dominanti in primavera (*Daphnia*) sono state messe in relazione con le modalità di variabilità atmosferica in inverno, così come descritte dalle fluttuazioni dell'indice EA_{DF} (Manca *et al.* 2014).

La ricostruzione su scala secolare dell'evoluzione trofica del lago è stata effettuata utilizzando tecniche di paleolimnologia. Le indagini hanno permesso di ricostruire le dinamiche delle concentrazioni del fosforo totale a partire dal Medio Evo utilizzando bioindicatori specifici, quali pigmenti algali subfossili e diatomee (Milan *et al.* 2015), e cladoceri subfossili (Milan *et al.* 2017). Nel complesso, tali approcci hanno identificato nell'ultraoligotrofia (TP ca. 5-10 µg L⁻¹) la tipica condizione naturale di riferimento del Garda. Una discussione critica dell'applicazione e spettro di utilizzo delle tecniche di paleolimnologia nei grandi laghi perialpini è riportata in Tolotti *et al.* (2018).

Un altro filone di ricerca ha riguardato lo studio delle specie alloctone. Nel Lago di Garda sono state identificate oltre 50 specie alloctone, invasive o potenzialmente invasive appartenenti a diversi gruppi di vertebrati (oltre 20 pesci), invertebrati, piante acquatiche e alghe (Cappelletti *et al.* 2009; Ciutti *et al.* 2011, 2014; Cappelletti & Ciutti 2017; Ciutti & Cappelletti 2017). La scoperta di nuove specie alloctone, tra cui diverse invasive, è in rapida crescita, come testimoniato dalla recente identificazione di nuovi molluschi di recente introduzione nel Garda (Lopez-Soriano *et al.* 2018) e dalla preponderante presenza di pesci non autoctoni in tutti i laghi profondi sudalpini (Volta *et al.* 2018). In prospettiva, l'identificazione di

nuove specie alloctone potrà essere facilitata dall'utilizzo di tecniche di Next Generation Sequencing (NGS; vedi sotto).

Nel periodo più recente ha preso avvio un ulteriore filone di ricerca finalizzato allo studio delle comunità microbiche, fitoplanctoniche e a protisti nei corpi d'acqua dolce, compresa la stazione pelagica LTER del Garda. Le indagini, basate sull'utilizzo di tecniche NGS, hanno messo in evidenza la presenza di una ricca comunità microbica, caratterizzata da una spiccata e ricorrente stagionalità. Nello specifico, l'adozione di queste tecniche è risultata estremamente efficace anche nell'identificazione di nuove specie di cianobatteri potenzialmente tossici e prima d'ora mai identificati con tecniche di microscopia ottica, sia perché di piccole dimensioni (diversi strains di *Synechococcus* e *Cyanobium*) sia perché presenti con un numero di individui molto basso (pochissimi individui/DNA-reads, come nel caso di *Gloeotrichia echinulata*) (Salmaso *et al.* 2018a). Uno studio svolto sui laghi profondi ha evidenziato forti differenze tra le comunità batteriche dei laghi meromittici/anossici e quelle dei laghi oligomittici. I risultati supportano l'ipotesi di un forte ruolo giocato dalla selezione ecologica nella creazione di specifici hotspot di biodiversità (Salmaso 2019). Analogamente, lo studio delle comunità a protisti ha permesso di stimare, per la prima volta, la biodiversità della componente microscopica eucariota, comprendente non solo la frazione fotosintetica, ma anche quella mixotrofica ed eterotrofica (Salmaso *et al.* 2019).

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

La ricerca nella stazione LTER del Garda è stata ed è finanziata, oltre che con fondi istituzionali FEM, con fondi esterni. Tra questi ultimi, i progetti ACE-SAP (PAT 2008-2011) ed EULAKES (EU Interreg-Central Europe 2010-2013) hanno permesso di iniziare l'importante filone di indagini indirizzato allo studio dei cianobatteri tossigenici. Sempre in questo filone, un'ampia collaborazione è iniziata nell'ambito del network COST EU Cyanocost (ES1105; 2012-2016), che ha permesso di ottenere importanti risultati sia consolidando le ricerche in corso (vedi sopra) sia ampliando gli ambiti di collaborazione (Babica *et al.* 2017; Meriluoto *et al.* 2017b, 2017a). Analogamente, le collaborazioni nell'ambito di un'altra COST action (Net-Lake ES1201; 2012-2016) hanno consentito di includere i dati sui livelli di cianotossine nel Garda in un più ampio contesto europeo (Mantzouki *et al.* 2018b, 2018a). Nell'ambito del progetto MetaVir-Alp (H2020 Marie Curie; 2016-2018), con referente l'Università di Trento e FEM secondment, sono state avviate indagini che hanno portato al sequenziamento dei genomi del cianobatterio *Tychonema bourrellyi* (Pinto *et al.* 2017) e di altri diversi batteri non fotosintetici (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, e *Sediminibacterium*) (Pinto *et al.* 2018). Le attività svolte nell'ambito del partenariato del progetto H2020 RISE AlgaeCeuticals (2018-2021) sono invece finalizzate alla caratterizzazione di ceppi microalgali isolati in corpi lacustri, compreso il Garda, da utilizzare in colture massive per la caratterizzazione e produzione di biomolecole attive.

Infine, nel corso del 2018 ha preso avvio un ampio progetto europeo finanziato dal programma EU Interreg Alpine Space (Eco-AlpsWater 2018-2021) e coordinato dall'Unità Idrobiologia di FEM. L'obiettivo principale dell'iniziativa, che vede coinvolti 12 partner e 6 stati europei, è di integrare i tradizionali approcci di monitoraggio con l'analisi del DNA ambientale (eDNA), fornendo informazioni sulla composizione e sulla quantità (abbondanze relative) del biota acquatico. Le attività di ricerca su un numero esteso di laghi (compreso il Garda e altri grandi laghi sudalpini) e fiumi promuoveranno l'adozione dei sistemi di monitoraggio di nuova generazione presso le agenzie per l'ambiente e governative, e al censimento della biodiversità lacustre e fluviale nella regione alpina a un livello senza precedenti (<https://www.alpine-space.eu/projects/eco-alpswater/en/home>).

Attività di divulgazione e formazione

I risultati ottenuti nell'ambito delle ricerche scientifiche sono stati oggetto, oltre che di pubblicazioni scientifiche (cf. Bibliografia) anche di numerose comunicazioni e poster presentati in congressi nazionali e internazionali, e di numerosi seminari, rivolti anche alle classi di scuole superiori. Il sito di ricerca è stato inoltre attivo (visite e seminari) nell'ambito del Cammino LTER 2016 "Il racconto del cambiamento tra

foreste, laghi e mare Bicistaffetta ecologica da Mantova a Venezia”. Le attività sono state svolte con il fondamentale supporto di numerosi studenti di laurea e dottorato (cf. Bibliografia). Sempre nell’ambito della didattica scientifica, gli approcci e tecniche NGS applicati sul Lago di Garda sono stati oggetto di due summer school (Integrating ‘Omics’ Technologies into Aquatic Ecology) organizzate a S. Michele all’Adige nel 2017 e 2018.

Prospettive future

È indubbio che i maggiori progressi osservati nel corso degli ultimi 10 anni in campo limnologico siano stati promossi dall’adozione di tecnologie innovative che hanno permesso di esplorare variabili e dimensioni spaziali e temporali prima impossibili con l’adozione di tecnologie classiche. È il caso, per esempio, dei progressi osservati nel campo dell’ecologia microbica lacustre con l’adozione di tecniche NGS che non richiedono l’utilizzo di approcci dipendenti dall’isolamento e coltura di popolazioni, nonché dell’enorme mole di informazioni ottenute con l’applicazione di diverse tecniche di LC-MS sia targeted (determinazione di tossine algali e altre molecole target) sia untargeted (metaboliti di diversa natura) a organismi acquatici in coltura. La vitalità della ricerca scientifica nel Lago di Garda e nelle altre stazioni LTER dovrà essere fondata, oltre che sull’adozione e aggiornamento di sistemi e modelli concettuali, anche sull’apertura verso le nuove tecnologie. A questo riguardo, importanti prospettive nella ricerca e nel trasferimento tecnologico nel prossimo decennio saranno costituite dall’evoluzione delle tecniche di metagenomica utilizzate nella valutazione della biodiversità e funzionalità delle comunità acquatiche e dalla progressiva introduzione delle nuove tecnologie nei monitoraggi di nuova generazione. Analogamente, un’attenzione particolare sarà rivolta agli stressori che maggiormente stanno influenzando la qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini, tra questi la continua introduzione di microinquinanti e di specie esotiche, che sarà analizzata con sistemi tecnologici allo stato dell’arte. Questi nuovi approcci saranno determinanti per interpretare gli effetti dei cambiamenti climatici e delle altre alterazioni antropiche (eutrofizzazione, microinquinanti) sul sistema lago in una prospettiva nuova e privilegiata rispetto al passato, basata cioè su uno spettro più ampio e qualificato di informazioni. Nel contempo, queste attività saranno svolte mantenendo la struttura di base della ricerca LTER, fondata sulla raccolta costante delle variabili fisiche, chimiche e biologiche tradizionali. L’integrazione dei due livelli di ricerca – tradizionale e innovativo – sarà fondamentale nel gettare le basi della *Next Generation LTER*.

Abstract

The objectives of the research in the LTER station of Lake Garda are manifold and based on a multidisciplinary approach aimed at understanding the long-term evolution of water quality and the effects of climate change and anthropogenic pressures on biotic communities and ecosystem functionality. Specific activities include: phytoplankton ecology and impact of nutrient concentrations and climatic fluctuations (evaluated using teleconnection indices) at different temporal frequency; identification of environmental and biotic mechanisms favouring the development of cyanobacteria; the identification of toxic strains of cyanobacteria (genes encoding cyanotoxins), and measurement of hepato- and neurotoxin concentrations and their impact on the use of water resources (for drinking and recreational purposes); the long-term evolution of the zooplankton community; the secular evolution of the lake through the paleolimnological study of diatoms and cladocerans in deep sediments; identification and impact on the lake ecosystem of alien and cryptogenic species. Over the last few years, investigations have been completed by further research lines including metagenomics and metabolomics. More specifically, microbial and cyanobacterial communities have been studied using culture-independent approaches, based on Next Generation Sequencing techniques and massive amplification of 16S rRNA genes with MiSeq Illumina techniques. The characterization of bioactive molecules in cyanobacterial species isolated in Lake Garda was performed using semi-untargeted metabolomic analysis with LC-MS techniques. The activities take advantage of the support of the technological platforms at FEM, Research and Innovation Center, namely Microscopy, Chemistry, Metagenomics and Metabolomics afferent to the

groups of Hydrobiology, Genomics, and Computational Biology. The integration of the two levels of research – traditional and innovative – will be fundamental in laying the foundations of the *Next Generation LTER*.

Ringraziamenti

La qualità dei dati ottenuti sul campo e in laboratorio è stata assicurata dal lavoro del personale tecnico della FEM afferente all'Unità di Idrobiologia, ed in particolare Andrea Zampedri, Lorena Ressa e Milva Tarter. Sin dalla sua fondazione, la ricerca LTER sul Garda si è avvalsa della collaborazione dei colleghi dell'ARPAV di Verona, coordinati dal Responsabile dell'Ufficio Lago di Garda, Giorgio Franzini, supportato da Federica Giacomazzi, Chiara Zampieri, e Giampaolo Fusato. Nel corso degli anni la ricerca è stata supportata, oltre dalla FEM, da diversi programmi di ricerca, tra cui Interreg Central Europe e Interreg Alpine Space. Attività di networking sono state promosse nell'ambito dell'azione COST Cyanocost. Infine, vogliamo esprimere i nostri più sinceri ringraziamenti ai numerosi studenti in tesi di laurea e dottorato, e collaboratori post-doc, che hanno contribuito alla continuità della ricerca nel Lago di Garda (cf. bibliografia); tra questi, Camilla Capelli, Domenico D'Alelio, Manuela Milan, Sajid Pareeth, Shiva Shams e Jonas Bylemans.

Lago di Garda B) – Stazione Sperimentale di Sirmione “Eugenio Zilioli”: Satellite Sites

Autori

Mariano Bresciani, Claudia Giardino, Paola Carrara, Pietro Alessandro Brivio, Mauro Musanti, Simone Lella

Affiliazione

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell’Ambiente (IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano, Italia.

Tematiche di ricerca e tipologia di dati raccolti

Le attività di ricerca con integrazione di misure in situ e tecniche di telerilevamento del Garda sono iniziate nel 1997 a cura del CNR-IREA all’interno del progetto del SALMON (Satellite Remote Sensing for Lake Monitoring, 4FP EC), progetto precursore in Europa delle attività scientifiche sulle tecnologie di telerilevamento applicate allo studio della qualità dell’acqua. La stazione Sperimentale, ubicata a Sirmione, dal 2000 è convenzionata con il Centro Rilevamento Ambientale (CRA) del Comune di Sirmione. Dal 2003 al 2012 sono state prodotte mappe di qualità dell’acqua nella zona eufotica (Clorofilla-a, Solidi Sospesi Totali, CDOM, bloom di cianobatteri superficiali) da immagini satellitari (MERIS e MODIS) (circa 50 per anno) e dal 2014 vengono prodotte mappe da immagini satellitari Sentinel-2 e Sentinel-3 (Bresciani *et al.* 2011; Bresciani *et al.* 2018). Sono inoltre prodotte mappe di temperatura superficiale da dati Landsat e mappe del substrato colonizzato da macrofite (Bresciani *et al.* 2012) e mappe di vegetazione ripariale (Bresciani *et al.* 2009) derivate da sensori aviotrasportati (es. MIVIS) e da sensori ad elevata risoluzione spaziale (es. RapidEye, WordView).

La stazione è utilizzata dal CNR-IREA come area di test per le attività di calibrazione / validazione dei dati satellitari, per questo fine ogni anno si effettuano campagne di misura di raccolta di dati *in situ* relative alle proprietà ottiche apparenti dell’acqua (radianza/irradianza e riflettanza) della superficie e colonna d’acqua, proprietà ottiche inerenti (assorbimenti e backscattering), campionamenti limnologici (concentrazioni di Clorofilla-a, Solidi Sospesi Totali, Trasparenza, Conducibilità, Temperatura) parametri biofisici e morfologici della macrofite e dei canneti.



Fig. 18 - Penisola di Sirmione acquisita dal satellite WordView-2 il 4 luglio 2018 (DigitalGlobe)

Nel 2014 è stato installato il Fotometro CIMEL presso il Museo delle Grotte di Catullo, il fotometro è inserito nella rete mondiale AERONET e misura in continuo la radiazione incidente da cui stima le concentrazioni di aerosol, ozono, vapore acqueo e permette di derivare le proprietà ottiche degli aerosol atmosferici.

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano la valutazione delle modificazioni spaziali e temporali della qualità dell'acqua superficiale in relazione alle variabili ambientali; la valutazione delle dinamiche di presenza ed abbondanza delle macrofite acquatiche e l'impatto delle pratiche di gestione (taglio) sulla crescita e sullo stato delle aree a canneto.

Risultati

Le attività di ricerca degli ultimi 5 anni si sono inserite all'interno di differenti progetti nazionali e internazionali. In particolare, il progetto FP-7 GLASS (Global Lakes Sentinel Services) attivo dal 2013 al 2016 e il progetto H2020 EOMORES (Earth Observation based services for Monitoring and Reporting of Ecological Status) in corso dal 2016 hanno e stanno permettendo la continua produzione di mappe tematiche con differenti sensori satellitari grazie ad accurati processi d'elaborazione d'immagini comprensivi di modelli di trasferimento radiativo dedicati sia alla componente atmosferica sia alla componente acquatica.

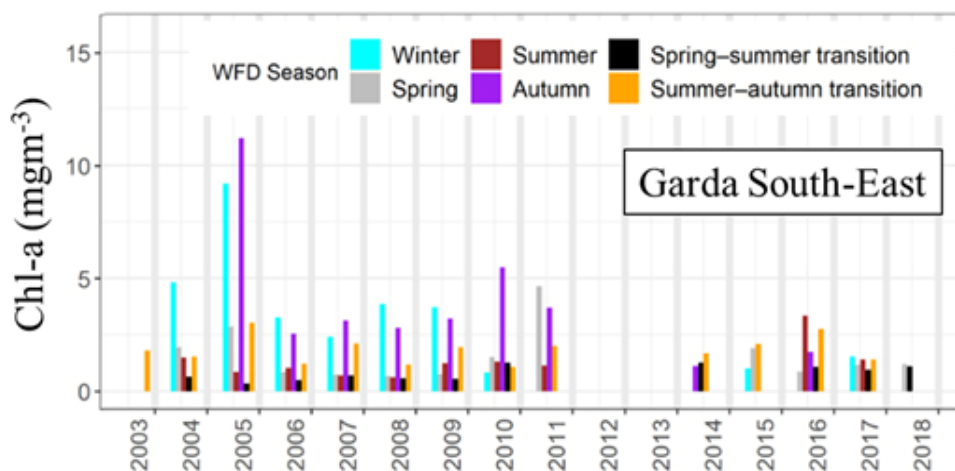


Fig. 19 - Concentrazioni medie di Clorofilla-*a*, per la zona eufotica della colonna d'acqua nell'area sud-est (Padenghe-Sirmione) del Lago di Garda, raggruppate nei sei periodi di campionamento della WFD ottenute da immagini satellitari nel periodo 2003-2018 (@CNR-IREA)

Dall'analisi di oltre 1 milione di pixel è emerso come la concentrazione media di Clorofilla-*a* delle acque superficiali del lago di Garda sia risultata di 1,18 mg m⁻³; l'analisi effettuata con il Seasonal Kendall test per oltre 200 mappe per il periodo 2003-2018 ha evidenziato una Media di Sen Slope di 0.053 mg m⁻³.

Tutti i prodotti di Clorofilla-*a* ottenuti sono stati aggregati al fine di fornire un

giudizio di qualità delle acque in accordo con le tempistiche di campionamento fornite dalla WFD, i risultati per la zona sud-est del basso Garda (Padenghe-Sirmione) sono visibili nella Fig. 19.

All'interno del progetto BLASCO (Blending Laboratory and Satellite techniques for detecting Cyanobacteria), finanziato da Fondazione CARIPLO, le attività di ricerca si sono focalizzate sull'individuazione delle fioriture superficiali di cianobatteri (Bresciani *et al.* 2017). L'implementazione di algoritmi e l'analisi temporale ha permesso d'identificare le fioriture attraverso l'utilizzo d'immagini satellitari d'ultima generazione.

L'analisi delle mappe prodotte ha permesso di identificare fenomeni di fioritura superficiale di cianobatteri che hanno avuto luogo con dinamiche estremamente rapide come evidenziato nelle mappe di Fig. 20 in cui è stato possibile individuare un'intensa fioritura superficiale di *Dolichospermum lemmermannii* verificatasi nell'agosto del 2016 (Bresciani *et al.* 2018).

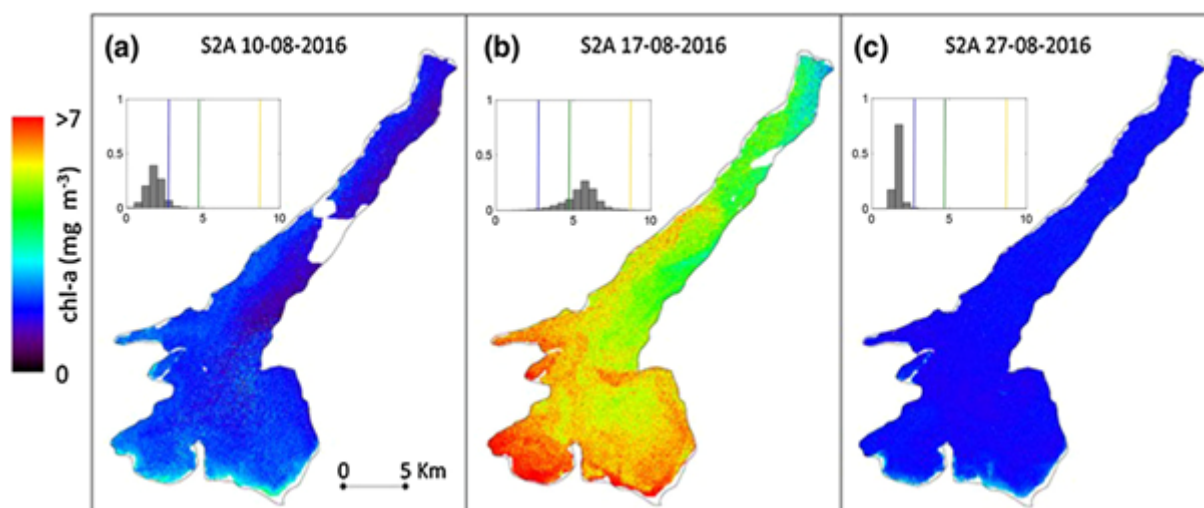


Fig. 20 - Mappe di concentrazioni di Clorofilla-a ottenute da immagini Sentinel-2. Nei grafici sono rappresentati il numero di pixel in frazione percentuale distribuiti in base ai valori della concentrazione di Clorofilla-a. Le linee verticali colorate rappresentano i limiti di qualità indicati dalla WFD

I progetti CLAM-PHYM (Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYperspectral Mission) (2011-2015) dell’Agenzia Spaziale Italiana e il progetto FP-7 INFORM (Improved monitoring and forecasting of ecological status of European INland waters by combining Future earth ObseRvation data and Models) (2014-2017) hanno permesso di implementare differenti algoritmi dedicati alla stima dei parametri di qualità dell’acque, alla correzione atmosferica dei dati e a modelli bio-ottici per la caratterizzazione delle macrofite sommerse e la batimetria nella fascia costiera (Giardino *et al.* 2012; Giardino *et al.* 2014; Cazzaniga *et al.* 2019).

Recentemente, all’interno del progetto H2020 SPACE-O (Space Assisted Water Quality Forecasting Platform for Optimized Decision Making in Water Supply Services) conclusosi nel 2018, il CNR-IREA ha prodotto mappe del tasso di evaporazione (Fig. 21) da dati Landsat-8 del Lago di Garda utili ai fini della stima del bilancio idrologico.

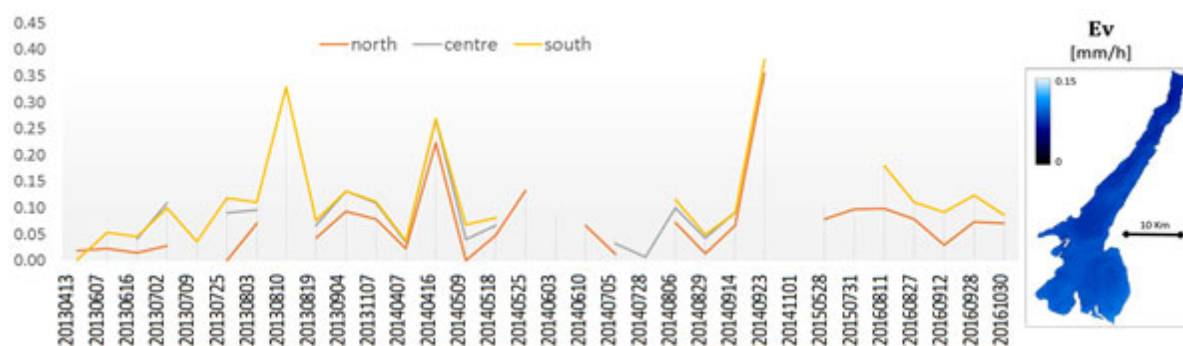


Fig. 21 - Andamento dei valori di Evaporazione per il periodo 2013-2016 dell’intera superficie del lago di Garda ottenuti da dati Landsat-8 (@CNR-IREA)

Le attività di ricerca sono state svolte in collaborazione con numerosi enti di Ricerca Nazionali ed Internazionali. Le attività della stazione sono state oggetto di tesi di laurea e dottorato, svolte in collaborazione con Università italiane. Numerose sono inoltre le attività di formazione, tra cui la Summer School “SENTINEL FOR WATER RESOURCES” dell’Associazione Italiana di Telerilevamento tenutasi dal 18 al 22 Settembre 2017 presso la Stazione Sperimentale a cui hanno partecipato circa 20 studenti provenienti da istituti italiani e internazionali.

La stazione è stata sede il 1 luglio 2016 di una tappa nei Cammini LTER Terramare – “Il racconto del cambiamento tra terra, mare e laguna”.

Prospettive future

Le attività di calibrazione e validazione si intensificheranno grazie al recente progetto H2020 HYPERNETS (A new hyperspectral radiometer integrated in automated networks of water and land bidirectional reflectance measurements for satellite validation) che permetterà di avere *in situ* uno spettroradiometro che misurerà in continuo le proprietà ottiche apparenti delle acque nel basso Lago di Garda. Inoltre la Stazione sperimentale di Sirmione è stata inserita come sito test per la calibrazione / validazione delle future immagini satellitari iperspettrali del sensore PRISMA dell’Agenzia Spaziale Italiana, lanciato a fine febbraio 2019. Le immagini iperspettrali PRISMA hanno il grande vantaggio di poter permettere stime ancora più accurate dei parametri di qualità delle acque e di permettere stime quantitative dei pigmenti secondari fitoplanctonici e la separazione delle componenti organiche ed inorganiche del materiale in sospensione nella zona superficiale della colonna d’acqua.

Oltre alle attività di calibrazione e validazione, e alla prosecuzione della generazione di mappe di qualità delle acque e di mappe di caratterizzazione del fondale delle zone costiere, le ricerche previste nel prossimo futuro si focalizzeranno sull’analisi biofisica del segnale di fluorescenza indotto dalla luce solare in ambienti acquatici interni tramite l’integrazione di misure radiometriche iperspettrali e fluorimetriche da misure di campo, di laboratorio e modellistica del trasferimento radiativo.

Inoltre, tutti i dati ad oggi prodotti, integrati con le misure *in situ*, saranno elementi di analisi all’interno del progetto ESA LAKE ECV, recentemente finanziato, per la valutazione dei cambiamenti climatici in corso.

Abstract

The Experimental Station “Eugenio Zilioli” is an important support unit of CNR-IREA for all research activities focused on remote sensing of water quality and for developing the applications interesting the Lake Garda region. This small experimental station is located north of the peninsula of Sirmione in Lake Garda. Since 2000, the Station collaborates with the Environmental Unit of the Municipality of Sirmione (CRA) for promoting education and divulgation activities in the field of remote sensing of the environment. This venue hosts the scientific activities related to the research projects on remote sensing of lakes, in particular activities related to calibration and validation of satellite processing and algorithms development. Since 2003, maps of the surface water quality from different satellite sensors are regularly produced. Furthermore, macrophytes and bathymetry maps are produced from airborne and high spatial resolution images. Since 2014, the station is part of the NASA AERONET Site. Moreover, environmental monitoring actions for the management of common reeds in southern Lake Garda and educational activities involving hundreds of students from middle and high schools have been carried out.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il Comune di Sirmione, il Museo delle Grotte di Catullo e il Polo Museale Regionale della Lombardia per la collaborazione. Inoltre, si ringraziano Ilaria Cazzaniga, Monica Pinardi e Rossano Bolpagni per le attività di campo svolte.

Autori

Barbara Leoni, Valentina Soler, Martina Patelli, Veronica Nava

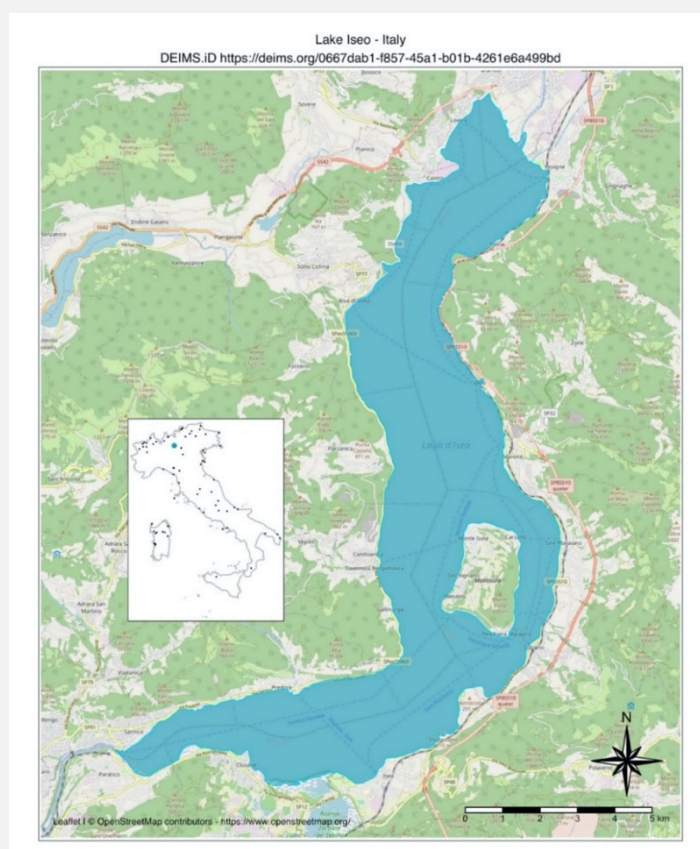
Affiliazione

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, I 20126 Milano

Sigla: IT08-006-A

Responsabile Sito: Barbara Leoni

DEIMS.ID: <https://deims.org/0667dab1-f857-45a1-b01b-4261e6a499bd>



Coordinate geografiche (deims.id): 45,722 N; 10.0679 E

Localizzazione: Regione Lombardia

Altitudine: 186 m s.l.m.

Area lago: 65 km²

Area bacino imbrifero: 1800 km²

Perimetro: 60 km

Profondità media e massima: 124 m e 251 m

Volume: 7,57×10⁹ m³

Tempo teorico di ricambio idrico: > 20 anni

Stato trofico: meso-eutrofo

Status di protezione: Riserva Naturale Regionale Orientata "Torbiere del Sebino" IT 2070020 SIC/2PS. Appartenenza ad altre reti di monitoraggio/ricerca: Rete di monitoraggio nazionale ai sensi del Decreto legislativo 152/2006 e del DM 260/2010, Rete Natura 2000.

Tematiche di ricerca: evoluzione dello stato trofico; dinamiche dei popolamenti planctonici; effetti dei cambiamenti climatici su idrologia, termica lacustre, idrochimica e comunità biologiche; indagini paleo-limnologiche.

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 22 - Stazione di campionamento del Lago d'Iseo, centro lago (Foto B. Leoni)

Il Lago d'Iseo (Figg. 22 e 23) è posto ai piedi delle Alpi e alla fine della valle Camonica (182 m sul livello del mare), tra le Province di Bergamo e Brescia (Regione Lombardia). Il principale immissario ed emissario è il Fiume Oglio.

Il Lago di Iseo è per importanza il quarto fra i grandi laghi del distretto lacustre subalpino. È di grande rilevanza per scopi idrici (uso potabile, agricolo e industriale) in quanto

collocato in un'area densamente popolata e produttiva, e di notevole interesse turistico e ricreativo.

La prima indagine multidisciplinare sul Lago di Iseo venne realizzata tra il 1971 e il 1972. In tale studio furono rilevate informazioni dettagliate sulle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, sulla struttura e composizione delle comunità biologiche, oltre a stime riguardanti i carichi di nutrienti e indagini sugli aspetti geografici, geologici e climatici del lago e del suo bacino imbrifero. A partire dagli anni '70, una serie di campionamenti a frequenza annuale, svolti a cura del CNR di Verbania, sono stati effettuati in corrispondenza del periodo di massimo mescolamento primaverile (marzo). Le ricerche LTER con frequenza mensile sull'Iseo sono iniziate nel 1992. Il primo periodo della ricerca è stato coordinato dalla Dott.ssa Letizia Garibaldi dell'Università degli Studi di Milano. Dal 1999 le attività sono invece condotte dal gruppo di Ecologia e gestione delle acque interne dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca (<http://www.disat.unimib.it/>).

La stazione limnologica principale del Lago d'Iseo è posta in corrispondenza del punto di massima profondità, al centro del transetto fra il Comune di Tavernola (Bergamo) e quello di Siviano (Monte Isola – Brescia). Per ricerche specifiche sono state prese in esame, per periodi limitati, anche altre stazioni di campionamento. I campionamenti per

le indagini limnologiche sono svolti con frequenza mensile dal gruppo di Ecologia e gestione delle acque interne dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca e considerano diverse profondità lungo la colonna d'acqua (superficie, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250 m). I dati a lungo termine comprendono dati di limnologia fisica (termica lacustre, trasparenza, profondità di mescolamento), idrochimica del lago (pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti, ossigeno disciolto), clorofilla, fitoplancton, zooplancton.

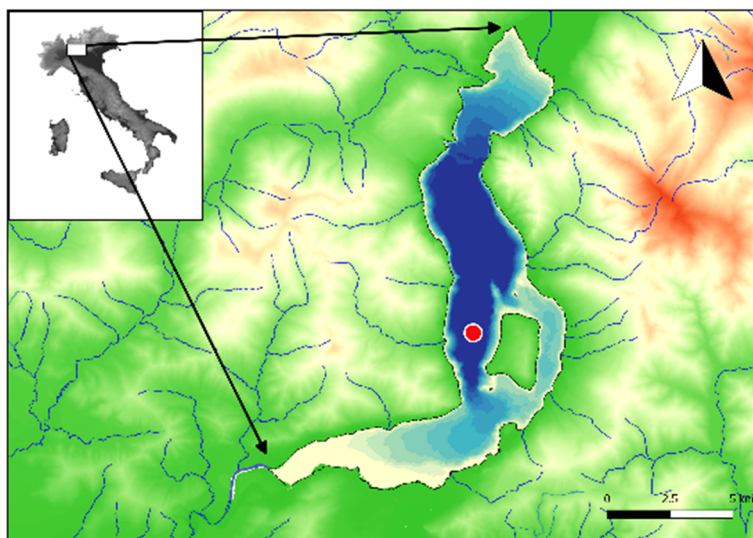


Fig. 23 - Lago d'Iseo - stazione di campionamento e batimetria (Nava et al. 2017)

A questi dati si sono nel tempo affiancate ulteriori indagini, tra cui l'idrochimica dei tributari, lo studio della fauna ittica e del bacterioplancton (in collaborazione con Fondazione Edmund Mach e CNR Verbania), l'identificazione dei meccanismi ambientali e biotici che favoriscono lo sviluppo dei cianobatteri; l'identificazione di ceppi tossici di cianobatteri (geni codificanti cianotossine) e la misura delle concentrazioni di epato- e neurotossine e il loro impatto sullo spettro di utilizzo della risorsa acqua (in collaborazione con Fondazione Edmund Mach). Dal 2014 il monitoraggio del popolamento zooplanctonico è stato affiancato da analisi isotopiche per lo studio delle reti trofiche. Inoltre, nell'ambito delle ricerche sulle sostanze pericolose vengono considerati alcuni contaminanti in organismi indicatori (zooplancton, pesci – in collaborazione con l'Università degli Studi dell'Insubria).

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano l'evoluzione dello stato trofico, le dinamiche dei popolamenti planctonici, gli effetti dei cambiamenti climatici su idrologia, termica lacustre, idrochimica e comunità biologiche, la paleolimnologia e modelli ecologici.

Risultati

Dagli anni '70 del secolo scorso il lago ha mostrato un progressivo deterioramento della qualità delle acque dovuto all'eutrofizzazione. Le concentrazioni medie di fosforo totale sono passate da poco più di $10 \mu\text{g P L}^{-1}$ nel 1967, a $25\text{-}35 \mu\text{g P L}^{-1}$ negli anni 1975-1985 fino a $60 \mu\text{g P L}^{-1}$ negli anni 2000.

L'aumento di fosforo ha avuto profonde ripercussioni sulle caratteristiche fisiche e biologiche, determinando una diminuzione della trasparenza delle acque, un aumento di biomassa algale e un aumento, in particolare, dei cianobatteri (*Planktothrix*) anche sotto forma di fioriture dovute a *Dolichospermum* (= *Anabaena*) *lemmermannii* (Garibaldi *et al.* 2003). I cambiamenti climatici in corso hanno da una parte enfatizzato gli impatti antropici già sussistenti e dall'altra hanno determinato una serie di conseguenze sia dirette che indirette sulle dinamiche lacustri. Uno dei principali effetti dell'aumento delle temperature è la diminuzione della frequenza degli eventi di circolazione profonda tardo-invernale. Considerando come arco temporale gli ultimi 25 anni, si è assistito ad un completo mescolamento della colonna d'acqua solo negli anni 2005-2006, mentre negli anni più recenti il rimescolamento ha interessato non più del 20% della colonna d'acqua. Il rarefarsi degli eventi di piena circolazione porta ad un accumulo di sostanza organica nell'ipolimnio profondo e conseguentemente allo sviluppo di condizioni ipossiche, con concentrazioni medie di ossigeno pari a $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ tra i 200 e i 245 m di profondità (Fig. 24). Anche in seguito al rimescolamento completo della colonna d'acqua avvenuto nel 2005-2006 non è stata registrata una completa ossigenazione delle acque profonde, in quanto è stata rilevata sul fondo una ricarica massima di ossigeno pari al 63%. Situazioni di mancanza di ossigeno possono essere tuttavia osservate anche fino a spessori di acqua di 75 m di profondità. Eventi di circolazione limitati agli strati superficiali portano in ipolimnio alla formazione di composti tossici e all'accumulo di ioni, tra cui quelli di fosforo e di azoto. Nonostante i fenomeni di circolazione poco profonda riducano l'apporto di fosforo dagli strati più profondi, le concentrazioni di fosforo in epilimnio risultano ugualmente elevate (Fig. 25) (Leoni *et al.* 2014). Per tale motivo il Lago di Iseo può essere classificato come un lago meso-eutrofo.

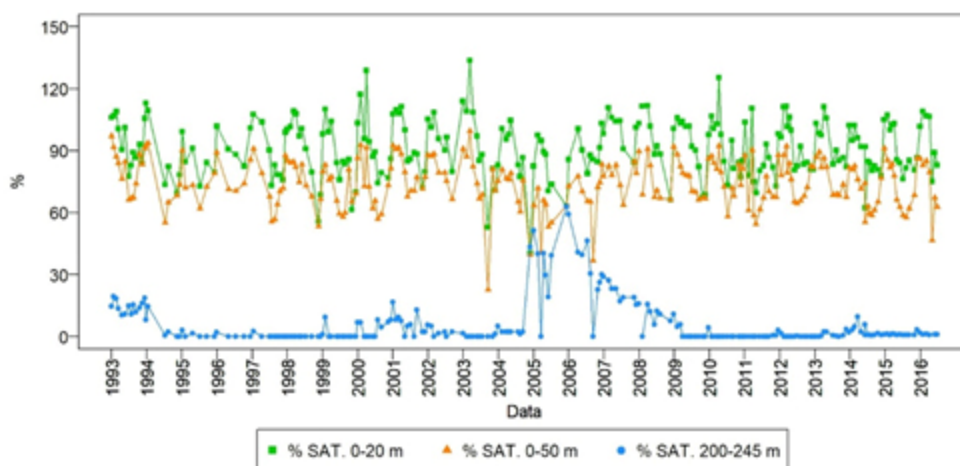


Fig. 24 - Serie a lungo termine (1993-2016) della percentuale di saturazione di ossigeno disciolto negli strati superficiali (media tra 0 e 20 m e tra 0 e 50 m) e negli strati più profondi (media tra 200 e 245 m)

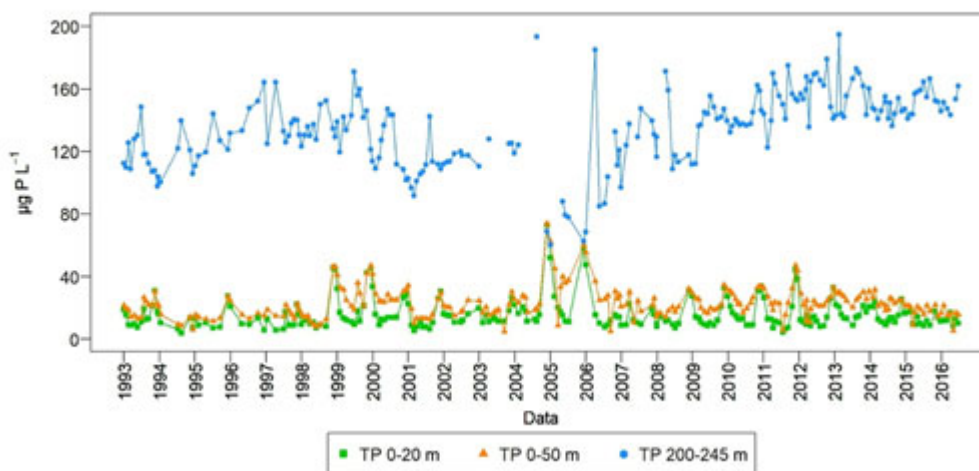


Fig. 25 - Serie a lungo termine (1993-2016) della concentrazione di fosforo totale negli strati superficiali (media tra 0 e 20 m e tra 0 e 50 m) e negli strati profondi (media tra 200 e 245 m)

La disponibilità del fosforo e l'aumento delle temperature superficiali, a cui si sta assistendo in conseguenza alle variazioni climatiche, hanno determinato un incremento e una variazione nella composizione specifica della comunità fitoplanctonica. In tempi recenti, infatti, è stata osservata la proliferazione di popolazioni di cianobatteri criptogenici potenzialmente tossici, che negli anni precedenti non popolavano il Lago d'Iseo (e.g. *Tychonema bourrellyi*) (Nava *et al.* 2017). La comunità zooplanctonica, composta sia da consumatori primari (si nutrono di alghe) che da consumatori secondari (predatori), presenta delle alterazioni nei propri cicli che possono essere ricondotte alle variazioni meteo-climatiche (Leoni *et al.* 2018). Quest'ultime possono essere efficacemente descritte dagli indici di teleconnessione, che descrivono ricorrenti e persistenti anomalie di circolazione tra due distanti aree geografiche. Tra i molti indici presenti, i modelli di variabilità climatica più adatti a descrivere l'area mediterranea sono l'*East Atlantic pattern* (EA) e l'*Eastern Mediterranean Pattern* (EMP). Valori di EA negativi, corrispondenti a EMP positivi, indicano inverni più freddi e di conseguenza un'inferiore temperatura dell'acqua, con una maggiore probabilità di rimescolamento profondo. Tali indici sembrano innescare un effetto a cascata

sulla rete trofica pelagica, con variazioni nella comunità fitoplanctonica, che a sua volta influenza la fenologia della comunità zooplanctonica.

In conclusione, gli studi condotti ad oggi sul Lago di Iseo hanno permesso di caratterizzare nel dettaglio tale ambiente e di acquisirne una conoscenza approfondita. Un approccio integrato, che consideri le differenti componenti biologiche e al contempo le diverse caratteristiche chimico-fisiche, è di fondamentale importanza al fine di comprendere la complessità propria di tale ecosistema. In tale contesto dati che coprono un esteso intervallo temporale forniscono informazioni fondamentali per individuare l'evoluzione e prevedere gli sviluppi futuri degli ambienti lentici, i quali rispondono alle mutate pressioni antropiche e fungono da "sentinelle" per le variazioni climatiche su scale temporali ampie. Tali informazioni hanno un valore fondamentale non solo nel contesto della ricerca scientifica di base ma anche nella corretta e adeguata gestione della risorsa ambientale.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

La attività di ricerca degli ultimi anni si sono inserite all'interno di differenti progetti, principalmente tramite i finanziamenti ordinari dell'Ateneo (FA-UNIMIB).

Il Lago Iseo è sito di ricerca nell'ambito del progetto CARIPLO 2016-2018 'Lake, stream and groundwater modeling to manage water quantity and quality in the system of Lake Iseo-Oglio River' responsabile della ricerca dr. B. Leoni. Sono stati avviati degli studi modellistici per simulare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle dinamiche di mescolamento del lago, in particolare l'evoluzione della frequenza del mescolamento invernale e la durata dei periodi di stratificazione. Le simulazioni sono volte anche a comprendere l'effetto della diminuzione della profondità di mescolamento del lago sulla distribuzione dell'ossigeno, sui nutrienti e sulle fioriture algali.

Inoltre, sono in atto studi relativi alla migliore comprensione della rete trofica pelagica anche mediante l'utilizzo degli isotopi stabili, i cui risultati potranno essere utili per l'analisi della distribuzione dei contaminanti nel comparto biologico, e studi relativi al ciclo delle microplastiche sia nella colonna d'acqua sia nei sedimenti.

Attività di divulgazione, formazione

I risultati ottenuti nell'ambito delle ricerche scientifiche sono stati oggetto, oltre che di pubblicazioni scientifiche anche di numerose comunicazioni e poster presentati in congressi nazionali e internazionali, e di numerosi seminari, rivolti alle classi di scuole superiori e alla cittadinanza. Sempre nell'ambito di attività didattiche rivolte a studente di scuole superiori sono state organizzate attività di campo per illustrare le principali metodiche di campionamento. Le attività sono state svolte con il fondamentale supporto di numerosi studenti di laurea e dottorato (cf. Bibliografia).

Prospettive future

Le ricerche future sul Lago d'Iseo prevedono la prosecuzione delle indagini volte a stabilire l'impatto dei cambiamenti climatici e degli impatti antropici sull'ecosistema lago, sui parametri idrochimici e sulle comunità biotiche, poiché i risultati ottenuti dall'analisi dei dati a lungo termine indicano come lo stato ecologico attuale del lago sia il risultato di un delicato equilibrio tra il controllo imposto dai fattori meteorologici e quello legato alla pressione antropica che ancora grava sull'ecosistema. Le ricerche si concentreranno sull'interazione tra diversi fattori di perturbazione come: apporto di nutrienti dal bacino; alterazioni idro-morfologiche; introduzione di plastiche e microplastiche in grado di alterare la rete trofica e compromettere la qualità delle acque lacustri. Gli studi paleolimnologici, inoltre, permetteranno di approfondire e studiare da un'altra prospettiva queste tematiche.

Abstract

Lake Iseo is a deep subalpine lake (surface area 60.9 km², max depth 258 m, volume 7.6 km³) located in Lombardy region, Italy. It lies in the foothills of the Alps (190 m a.s.l.) at the end of a prealpine valley,

Val Camonica. The inflow and outflow of water in the lake are from the River Oglio, which passes through the lake. Lake Iseo underwent eutrophication since the 1970s; over the past 40 years, the increase in nutrient loadings brought the lake to a meso-eutrophic condition, with average concentration of total phosphorus of $60 \mu\text{g P L}^{-1}$. Regular monthly studies on Lake Iseo have been established in 1992 by Dr. Letizia Garibaldi, University of Milan and from 1999, still on going, by the group of Freshwater ecology and management, University of Milano-Bicocca (<http://www.disat.unimib.it/>). The sampling station is located in the centre of the lake, between the municipality of Tavernola (Bergamo) and Siviano (Monte Isola – Brescia), in correspondence of the deepest point. Physical, chemical and biological long-term data are regularly monitored through the collection of water samples at discrete depths and of phytoplankton and zooplankton samples. The main research topics regarding this site are the evolution of the trophic status, the dynamic of phytoplankton and zooplankton, the effects of climate change on hydrology, thermal structure, water chemistry and biological communities, paleolimnology, and ecological modelling.

Ringraziamenti

I dati a lungo termine per il Lago d'Iseo sono stati raccolti con la collaborazione della Polizia Provinciale di Brescia e di ARPA Brescia. Si ringrazia il prof. Pietro Fumagalli e la dott.ssa Morena Spreafico per la collaborazione nelle attività di campionamento e analisi dei dati. Infine, vogliamo esprimere i nostri più sinceri ringraziamenti ai numerosi studenti in tesi di laurea che hanno contribuito alla continuità della ricerca nel Lago d'Iseo.

Sitografia

<http://www.ise.cnr.it/lter/famecandia.htm>
www.parks.it/parco.lago.candia/

Bibliografia citata

- Ambrosetti W., Barbanti L. (1999). Deep water warming in lakes: An indicator of climatic change. *J. Limnol.* 58, 1-9. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.1999.1>.
- Ambrosetti W., Barbanti L., Mosello R., Rolla A. & Ruggiu D. (1983). Mescolamento, caratteristiche chimiche, fitoplancton e situazione trofica nei laghi profondi sudalpini. *Collana P.F. Promozione della qualità dell'ambiente. CNR AQ/2/20*.
- Babica P., Capelli C., Drobac D. & Gkelis S. (2017). Cyanobacterial blooms and toxins in water resources: Occurrence, impacts and management. *Advances in Oceanography and Limnology 8: Themed Issue- Cyanobacteria*, 1-178.
- Barbanti L. (1974). Morfologia della conca lacustre In Gerletti, M. (ed), *Indagini sul Lago di Garda. IRSA quaderni 18*, Roma: 101-115.
- Barbanti L., Bonacina C., Bonomi G. & Ruggiu D. (1972). Lago d'Orta: situazione attuale e previsioni sulla sua evoluzione in base ad alcune ipotesi di intervento. Ed. Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza: pp. 113.
- Baudo R. & Beltrami M. (2001). Chemical composition of Lake Orta sediments. *Journal of Limnology*, 60(2), 213-236.
- Baudo R., Occhipinti A., Nocentini A.M., Sabolla M. Benthos of Lake Orta (in the year 1996). *Journal of Limnology* 60, no. 2 (2001): 241-248.
- Bernard C., Ballot A., Thomazeau S., Maloufi S., Furey A., Mankiewicz-Boczek J., Pawlik-Skowronska B., Capelli C. & Salmaso N. (2017). Appendix 2. Cyanobacteria associated with the production of cyanotoxins In Meriluoto, J., L. Spoof, & G. A. Codd (eds), *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester: 501-525.
- Bertin F. & Bortoli A. (eds) (2009). *Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian*. ANSAC, Rome.
- Bettinetti R., Morabito G. & Provini A. (2000). Phytoplankton assemblage structure and dynamics as indicator of the recent trophic and biological evolution of the western basin of Lake Como (N. Italy). *Hydrobiologia*, 435: 177-190.
- Bonacina C. & Pasteris A. (2001). Zooplankton of Lake Orta after liming: an eleven years study. *Journal of Limnology*, 60(1), 101-109.
- Bonacina C., Bonomi G., Barbanti L., Mosello R. & Ruggiu D. (1988a). Recovery of an industrially acidified, ammonium and heavy metals polluted lake (Lake Orta, N. Italy), due to the adoption of treatment plants. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 23, 535-544.
- Bonacina C., Calderoni A. & Mosello R. (1988b). Il Lago d'Orta: evoluzione dell'inquinamento e interventi diretti al recupero di uno dei più grandi laghi acidi del mondo. *Acqua Aria*, 20(1), 69-74.
- Bonacina C., Bonomi G. & Monti C. (1986). Oligochaete cocoon remains as evidence of past lake pollution. *Hydrobiologia*, 143, 395-400.
- Bonacina C., & Bonomi G. (1984). I grandiosi effetti ambientali determinati dalle prime fasi del disinquinamento del Lago d'Orta. *Documenta dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 2, pp. 24.
- Bonomi G., Calderoni A. & Mosello R. (1979). Some remarks on the recent evolution of the deep Italian subalpine lakes. *Symp. Biol. Hung.* 19: 87-111.
- Bonacina C. (1970). Il Lago d'Orta: ulteriore evoluzione della situazione chimica e della struttura della biocenosi lacustre. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 26, 141-204.

- Bresciani M., Cazzaniga I., Austoni M., Sforzi T., Buzzi F., Morabito G. and Giardino C. (2018). Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8. *Hydrobiologia*, pp.1-18. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3462-2>
- Bresciani M., Giardino C., Lauceri R., Matta E., Cazzaniga I., Pinardi M., Lami A., Austoni M., Viaggiu E., Congestri R. & Morabito G. (2016). Earth observation for monitoring and mapping of cyanobacteria blooms. Case studies on five Italian lakes. *Journal of Limnology*. Doi: <http://dx.doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1565>. ISSN 1323-1650
- Bresciani M., Bolpagni R., Braga F., Oggioni A., Giardino C. (2012). Retrospective assessment of macrophytic communities in southern Lake Garda (Italy) from in situ and MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) data, *Journal of Limnology*, vol. 71(1): 180-190.
- Bresciani M., Stroppiana D., Odermatt D., Morabito G., Giardino C. (2011). Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes, *Science of the Total Environment*, 409, 3083-3091.
- Boscaini A. (2009). Natural and anthropogenic loads of nutrients In Bertin, F., & A. Bortoli (eds), *Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian*. ANSAC, Roma: 51-63.
- Bresciani M., Stroppiana D., Montagna M., Fila G., Giardino C. (2009). Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy, *Italian Journal of Remote Sensing*, 41(2): 125-137.
- Buzzi F. (2002). Phytoplankton assemblages in two sub-basins of Lake Como. *J. Limnol.*, 61 (1): 117-128.
- Calderoni A., Tartari G.A. (2001). Evolution of the water chemistry of Lake Orta after liming. *Journal of Limnology*, 60(1), 69-78.
- Calderoni A., Mosello R., Ruggiu D. (1992). Sixty years of limnology on Lago d'Orta: a case history of recovery from heavy pollution. In: Guilizzoni, P., Tartari, G., & Giussani, G., (Eds), *Limnology in Italy. Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 50, 201-224.
- Calderoni A., de Bernardi R., Mosello R. (1990). L'inquinamento del Lago d'Orta e suo risanamento mediante liming. *Inquinamento*, 32(11), 8-18.
- Callieri C., Corno G., Contesini M., Fontaneto D., Bertoni R. (2017). Transparent exopolymer particles (TEP) are driven by chlorophyll a and mainly confined to the euphotic zone in a deep subalpine lake. *Inland Waters* 7: 118.127.
- Callieri C., Bertoni R., Contesini M., Bertoni F. (2014). Lake level fluctuations boost toxic cyanobacterial "oligotrophic blooms". *PLoS One* 9, e109526.
- Capelli C., Cerasino L., Boscaini A. & Salmaso N. (2018). Molecular tools for the quantitative evaluation of potentially toxigenic *Tychonema bourrellyi* (Cyanobacteria, Oscillatoriales) in large lakes. *Hydrobiologia*, this issue. 824: 109-119.
- Capelli C., Ballot A., Cerasino L., Papini A. & Salmaso N. (2017). Biogeography of bloom-forming microcystin producing and non-toxigenic populations of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria). *Harmful Algae* 67: 1-12.
- Cappelletti C. & Ciutti F. (2017). Bivalvi alloctoni nel Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Cappelletti C., Cianfanelli S., Beltrami M.E. & Ciutti F. (2009). *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae): A new non-indigenous species in lake Garda (Italy). *Aquatic Invasions* 4: 685-688.
- Cattaneo A., Michèle D.E., Morabito G., Mosello R. & Tartari G. (2011). Periphyton changes over 20 years of chemical recovery of Lake Orta, Italy: differential response to perturbation of littoral and pelagic communities. *Journal of Limnology*, 70(2), 177-185.
- Cazzaniga I., Bresciani M., Colombo R., Della Bella V., Padula R. and Giardino C. (2019). A comparison of Sentinel-3-OLCI and Sentinel-2-MSI-derived Chlorophyll-a maps for two large Italian lakes. *Remote Sensing Letters*, 10(10), 978-987.

-
- Cerasino L., Capelli C. & Salmaso N. (2017). A comparative study of the metabolic profiles of common nuisance cyanobacteria in southern perialpine lakes. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 22-32.
- Chiaudani G. & Premazzi G. (1993). Il Lago di Como. Condizioni ambientali attuali e modello di previsione dell'evoluzione della qualità delle acque. Commissione delle Comunità Europee. EUR 15267 IT.: pp. 237.
- Chiaudani G. & Premazzi G. (1990). Il Lago di Garda. Evoluzione trofica e condizioni ambientali attuali. Commissione delle Comunità Europee, EUR 12925, Lussemburgo.
- Ciampittiello M., Volta P., Saidi H., Dresti C., Cerutti I., Zellino C. & Morabito G. (2017). Relazione finale sulle attività oggetto del contratto per il servizio di indagine limnologica sul lago e sulla palude di Candia – Report CNR-ISE, 01.17.
- Ciutti F., Cappelletti C. (2017). Invasioni biologiche: il caso del Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Ciutti F., Flaim G., Beltrami M.E. & Cappelletti C. (2014). Non-indigenous fish fauna in Trentino lakes (Northern Italy). *Italian Journal of Freshwater Ichthyology* 192-201.
- Ciutti F., Beltrami M.E., Confortini I., Cianfanelli S. & Cappelletti C. (2011). Non-indigenous invertebrates, fish and macrophytes in Lake Garda (Italy). *Journal of Limnology* 70: 315-320.
- CNR-ISE, Sede di verbania (2016). Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2013-2015. Campagna 2015 e Rapporto triennale 2013-2015. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): pp. 146.
- CNR-ISE (2007). Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.).
- Corbella C., Tonolli V. & Tonolli L. (1958). I sedimenti del Lago d'Orta testimoni di una disastrosa polluzione cupro-ammoniacale. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 10, 9-50.
- D'Alelio D., Gandolfi A., Boscaini A., Flaim G., Tolotti M. & Salmaso N. (2011). Planktothrix populations in subalpine lakes: selection for strains with strong gas vesicles as a function of lake depth, morphometry and circulation. *Freshwater Biology* 56: 1481-1493.
- D'Ancona U., Mozzi C. & Merlo S. (1961). Ricerche limnologiche sul Lago di Garda. *Verh. Internat.Verein. Limnol.* 14: 838-845.
- Di Cesare A., Eckert E.M., Teruggi A., Fontaneto D., Bertoni R., Callieri C., Corno G. (2015). Constitutive presence of antibiotic resistance genes within the bacterial community of a large subalpine lake. *Mol. Ecol.* 24, 3888–3900. <https://doi.org/10.1111/mec.13293>
- Eckert E.M., Di Cesare A., Coci M., Corno G. (2018). Persistence of antibiotic resistance genes in large subalpine lakes: the role of anthropogenic pollution and ecological interactions. *Hydrobiologia* 824, 93-108. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3480-0>
- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Ciampittiello M., Dresti C. (2018). Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Clim. Dyn.* 51, 10.1007/s00382-018-4094-6. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4094-6>
- Galanti G., Ciampittiello M., Cervelli S., De Bernardi R., Giussani G., Morabito G., Mosello R., Oggioni A., Riccardi N., Balestrini R., Salerno F., Tartari G., Farina R. (2004). Il controllo dell'eutrofizzazione attraverso la gestione integrata del lago e del suo bacino imbrifero. Studi ed esperienze nell'area di sperimentazione del Lago di Candia. Progetto MI.CA.RI. Strumenti e procedure per il miglioramento della capacità ricettiva di corpi idrici superficiali. Report CNR-ISE, 05.04: pp. 23.
- Galanti G., Guilizzoni P., Mangoni M., Nocentini A. & Piva A. (1991). A study on the littoral sediments and macrobenthos in connection with the harvesting of aquatic macrophytes in Lago di Candia (N.

-
- Italy). In: Giussani, G., Van Liere L. and Moss B. (Eds.), Ecosystem research in freshwater environment recovery. Mem. Ist. ital. Idrobiol., 48: 163-184.
- Galanti G., Guilizzoni P. & Libera V. (1990). Biomanipulation of Lago di Candia (Northern Italy): a three-year experience of aquatic macrophyte management. In: Gulati R.D., Lammens E.H.R.R., Meijer M.-L. and van Donk E. (Eds.), Biomanipulation-Tool for Water Management. Hydrobiologia, 200/201: 409-417.
- Garibaldi L., Anzani A., Marieni A., Leoni B. & Mosello R. (2003). Studies on the phytoplankton of the deep subalpine Lake Iseo. Journal of Limnology 62, 177.
- Gerletti M. (ed) (1974). Indagini sul Lago di Garda. IRSA Quaderni 18, Roma.
- Giardino C., Bresciani M., Cazzaniga I., Schenk K., Rieger P., Braga F., Matta E., Brando V.E. (2014). Evaluation of Multi-Resolution Satellite Sensors for Assessing Water Quality and Bottom Depth of Lake Garda. Sensors, 14: 24116-24131. ISSN: 1424-8220.
- Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M. (2012). BOMBER: A tool for estimate water quality and bottom properties from remote sensing images. Computers & Geosciences, 45:313-318.
- Giussani G., Galanti G., De Bernardi R., Morabito G., Mosello R., Oggioni A., Riccardi N., Cerutti I., Pranzo A., Tartari G.A. (2004). Messa a punto di ecotecnologie interne al corpo idrico per mitigare gli effetti dell'eutrofizzazione e per aumentare le sue capacità recettive nei confronti di agenti eutrofizzanti. Lago di Candia. Progetto MI.CA.RI. Strumenti e procedure per il miglioramento della capacità ricettiva di corpi idrici superficiali Report CNR-ISE, 03.04: pp. 56.
- Giussani G., de Bernardi R. & Ruffoni T. (1990). Three years of experience in biomanipulating a small eutrophic lake: Lago di Candia (Northern Italy). In: Gulati R.D., Lammens E.H.R.R., Meijer M.-L. and van Donk E. (Eds.), Biomanipulation-Tool for Water Management. Hydrobiologia, 200/201: 357-366.
- Guilizzoni P., Levine S.N., Manca M. *et al.* (2012). Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. JOURNAL OF LIMNOLOGY 71:1-22. DOI: 10.4081/jlimnol.2012.e1
- Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Appleby P.G., Alvisi F. (2001). Fourteen years of palaeolimnological research of a past industrial polluted lake (L. Orta, Northern Italy): an overview. Journal of Limnology 60(2), 249-262.
- Guzzella L.M., Novati S., Casatta N., Roscioli C., Valsecchi L., Binelli A., Parolini M., Solcà N., Bettinetti R., Manca M., Mazzoni M., Piscia R., Volta P., Marchetto A., Lami A., Marziali L. (2018). Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. Hydrobiologia 824(1), 271-90. DOI: 10.1007/s10750-017-3494-7
- Kokociński M., Akçaalan R., Salmaso N., Stoyneva-Gärtner M.P. & Sukenik A. (2017). Expansion of Alien and Invasive Cyanobacteria. In Meriluoto J., Spoof L. & Codd G.A. (eds), Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis. Wiley, Chichester: 28-39.
- Lami A., Marchetto A., Lo Bianco R. *et al.* (2000). The last ca 2000 years palaeolimnology of Lake Candia (N. Italy): inorganic geochemistry, fossil pigments and temperature time-series analyses. Journal of Limnology 59:31-46.
- Leoni B., Nava V. & Patelli M. (2018). Relationships among climate variability, Cladocera phenology and the pelagic food web in deep lakes in different trophic states. Marine and Freshwater Research, 69(10), 1534-1543.
- Leoni B., Garibaldi L. & Gulati R. (2014). How does interannual trophic variability caused by vertical water mixing affect reproduction and population density of the *Daphnia longispina* group in Lake Iseo, a deep stratified lake in Italy? Inland Waters 4, 193-203.

- Lopez-Soriano J., Quiñonero-Salgado S., Cappelletti C., Faccenda F. & Ciutti F. (2018). Unraveling the complexity of Corbicula clams invasion in Lake Garda (Italy). *Advances in Oceanography and Limnology* 9: 97–104.
- Manca M. (2017). In memoriam of Peppe Morabito. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/aiol.2017.7209>
- Manca M., Rogora M. & Salmaso N. (2014). Inter-annual climate variability and zooplankton: applying teleconnection indices to two deep subalpine lakes in Italy. *Journal of Limnology* 74: 123-132.
- Manca M. & Comoli P. (1995). Temporal variations of fossil Cladocera in the sediments of Lake Orta (N. Italy) over the last 400 years. *Journal of Paleolimnology*, 14(2), 113-122.
- Mantzouki E., Campbell J., Van Loon E., Visser P., Konstantinou I., Antoniou M., Giuliani G., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Maronić D.Š., Stević F., Pfeiffer T.Ž., Vucelić I.B., Žutinić P., Udovič M.G., Plenković-Moraj A., Tsiarta N., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Christoffersen K.S., Warming T.P., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Kangro K., Häggqvist K., Salmi P., Arvola L., Fastner J., Straile D., Rothhaupt K.O., Fonvielle J., Grossart H.P., Avagianos C., Kaloudis T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Gkelis S., Panou M., McCarthy V., Perello V.C., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Koreivienė J., Karosienė J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Haande S., Skjelbred B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Nawrocka L., Kobos J., Mazur-Marzec H., Alcaraz-Párraga P., Wilk-Woźniak E., Krztoń W., Walusiak E., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwieck M., Pęczuła W., Napiórkowska-Krzebietke A., Dunalska J., Sieńska J., Szymański D., Kruk M., Budzyńska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szeląg-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyas B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokocinski M., Madrecka B., Kostrzewska-Szlakowska I., Frąk M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Ochocka A., Pasztalenie A., Jasser I., Antão-Geraldes A.M., Leira M., Hernández A., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Aleksovski B., Krstić S., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Remec-Rekar S., Elerse T., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrúbia T., Obrador B., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Úbeda B., Gálvez J.Á., Marcé R., Catalán N., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Cillero-Castro C., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Özen A., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Verspagen J.M.H., De Senerpont Domis L.N., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Lürling M., Maliaka V., Faassen E.J., Latour D., Carey C.C., Paerl H.W., Torokne A., Karan T., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Çelik K., Özhan K., Karakaya N., Koçer M.A.T., Yilmaz M., Maraşlioğlu F., Fakioglu Ö., Soylu E.N., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkın K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal R., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Alp M.T., Özkan K., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Richardson J., Edwards C., Bergkemper V., O'leary S., Beirne E., Cromie H. & Ibelings B.W. (2018a). A European Multi Lake Survey dataset of environmental variables, phytoplankton pigments and cyanotoxins. *Scientific Data* Nature Publishing Group 5: 180226.
- Mantzouki E., Lürling M., Fastner J., de Senerpont Domis L., Wilk-Woźniak E., Wilk-Woźniak E., Koreivienė J., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Krztoń W., Walusiak E., Karosienė J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Cillero-Castro C., Budzyńska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szeląg-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyas B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokocinski M., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Karakaya N., Häggqvist K., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Özhan K., Gkelis S., Panou M., Fakioglu Ö., Avagianos C., Kaloudis T., Çelik K., Yilmaz M., Marcé R., Catalán N., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Antoniou M.G., Tsiarta N., McCarthy V., Perello V.C., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkın K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal

- R., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Richardson J., Visser P.M., Verspagen J.M.H., Karan T., Soyly E.N., Maraşlıoğlu F., Napiórkowska-Krzebietke A., Ochocka A., Pasztaleniec A., Antão-Geraldes A.M., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Špoljarić Maronić D., Stević F., Žuna Pfeiffer T., Fonvielle J., Straile D., Rothhaupt K.O., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Koçer M.A.T., Alp M.T., Remec-Rekar S., Elersek T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Haande S., Skjelbred B., Madrecka B., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Edwards C., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Aleksovski B., Krstić S., Vucelić I.B., Nawrocka L., Salmi P., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrúbia T., Obrador B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Úbeda B., Gálvez J.Á., Özen A., Christoffersen K.S., Warming T.P., Kobos J., Mazur-Marzec H., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Arvola L., Alcaraz-Párraga P., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwiecki M., Peçzula W., Leira M., Hernández A., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Dunalska J., Sieńska J., Szymański D., Kruk M., Kostrzewska-Szlakowska I., Jasser I., Žutinić P., Gligora Udovič M., Plenković-Moraj A., Frańk M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Özkan K., Maliaka V., Kangro K., Grossart H.P., Paerl H.W., Carey C.C. & Ibelings B.W. (2018b). Temperature effects explain continental scale distribution of cyanobacterial toxins. *Toxins* 10: 156.
- Marchesoni V. (1952). Ricerche orientative sulla microflora pelagica del Garda. *Studi Trentini Scienze Naturali, Acta Biologica* 29: 85-109.
- Marchetto A. & Bettinetti R. (1995). Reconstruction of the phosphorus history of two deep, subalpine Italian lakes from sedimentary diatoms, compared with long-term chemical measurements. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 53:27-38.
- Meriluoto J., Blaha L., Bojadzija G., Bormans M., Brient L., Codd G.A., Drobac D., Faassen E.J., Fastner J., Hiskia A., Ibelings B.W., Kaloudis T., Kokocinski M., Kurmayer R., Pantelić D., Quesada A., Salmaso N., Tokodi N., Triantis T.M., Visser P.M. & Svirčev Z. (2017a). Toxic cyanobacteria and cyanotoxins in European waters – recent progress achieved through the CYANOCOST Action and challenges for further research. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 161-178.
- Meriluoto J., Spoof L. & Codd G.A. (2017b). *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester.
- Merlo S., Mozzi C., D'Ancona U., Mozzi C. & Merlo S. (1961). Ricerche limnologiche sul Lago di Garda. *Arch. Oceanogr. Limnol.* 13: 838-845.
- Milan M., Bigler C., Tolotti M. & Szeroczyńska K. (2017). Effects of long term nutrient and climate variability on subfossil Cladocera in a deep, subalpine lake (Lake Garda, northern Italy). *Journal of Paleolimnology Springer Netherlands* 58: 335-351.
- Milan M., Bigler C., Salmaso N., Guella G. & Tolotti M. (2015). Multiproxy reconstruction of a large and deep subalpine lake's ecological history since the Middle Ages. *Journal of Great Lakes Research* 41: 982-994.
- Monti R. (1930). La graduale estinzione della vita nel limnobia del Lago d'Orta. *Rendiconti dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere*, 63: 3-22.
- Morabito G., Rogora M., Austoni M., Ciampittello M. (2018). Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia*. 824(1), 163-175 doi: 10.1007/s10750-018-3549-4.
- Morabito G. (2016). Phytoplankton assemblages in Lake Orta: has functional structure recovered in one of the largest acidic lakes in the world? *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Morabito G., Oggioni A. & Austoni M. (2012). Resource ratio and human impact: How diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia* 698: 47-60.

-
- Morabito G., Ruggiu D. & Panzani P. (2001). Trends of phytoplankton characteristics and their communities in pre-and post-liming time in Lake Orta (1984-1998). *Journal of Limnology*, 60(1), 91-100.
- Mosello R., Ruggiu D. (1985). Nutrient Load, Trophic Conditions and Restoration Prospects of Lake Maggiore. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 70, 63-75. <https://doi.org/10.1002/iroh.19850700106>.
- Mosello R., Bonacina C., Carollo A., Libera V. & Tartari G.A. (1986a). Acidification due to inlake ammonia oxidation: an attempt to quantify the proton production in a highly polluted subalpine Italian lake (Lake Orta). *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 44, 47-71.
- Mosello R., Baudó R., & Tartari G.A. (1986b). Metal concentrations in a highly acidic lake: L. Orta (Northern Italy). *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 44, 73-96.
- Mosello R., Calderoni A. & Tartari, G.A. (1989). pH related variations of trace metal concentrations in L. Orta. *Science of Total Environment*, 87/88, 255-268.
- Mosello R., Ruggiu D., Pugnetti A. & Moretti M. (1991). Observed trends in the trophic conditions and possible recovery of the deep subalpine Lake Como (Northern Italy). *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 49: 79-98.
- Mosello R., Brizzio M.C., Garibaldi L., Buzzi F., Colzani L., Pizzotti E. & Mocellin D. (1999). Attuali condizioni trofiche dei bacini di Como e Lecco del Lario. *Acqua-Aria*, 9: 71-81.
- Mosello R., Brizzio M.C., Buzzi F., Colzani L., Pizzotti E. & Mocellin D. (2001). Qualità delle acque dei tributari e del Lario nel biennio 1998-1999. *Atti A.I.O.L.*, Genova, 14: 137-146.
- Mosello R., Ambrosetti W., Arisci S., Bettinetti R., Buzzi F., Calderoni A., Carrara E., De Bernardi R., Galassi S., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Oggioni A., Pagnotta R., Ricci D., Rogora M., Salmaso N., Simona M., Tartari G., Veronesi M. & Volta P. (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biologia Ambientale* 24: 167-177.
- Nava V., Patelli M., Soler V. & Leoni B. (2017). Interspecific relationship and ecological requirements of two potentially harmful cyanobacteria in a Deep South-Alpine Lake (L. Iseo, I). *Water* 9(12), 993.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K., Hampton S.E., Read J.S., Rowley R.J., Schneider P., Lenters J.D., McIntyre P.B., Kraemer B.M., Weyhenmeyer G.A., Straile D., Dong B., Adrian R., Allan M.G., Anneville O., Arvola L., Austin J., Bailey J.L., Baron J.S., Brookes J.D., de Eyto E., Dokulil M.T., Hamilton D.P., Havens K., Hetherington A.L., Higgins S.N., Hook S., Izmet'eva L.R., Joehnk K.D., Kangur K., Kasprzak P., Kumagai M., Kuusisto E., Leshkevich G., Livingstone D.M., MacIntyre S., May L., Melack J.M., Mueller-Navarra D.C., Naumenko M., Noges P., Noges T., North R.P., Plisnier P.-D., Rigosi A., Rimmer A., Rogora M., Rudstam L.G., Rusak J.A., Salmaso N., Samal N.R., Schindler D.E., Schladow S.G.G., Schmid M., Schmidt S.R., Silow E., Soylu E., Teubner K., Verburg P., Voutilainen A., Watkinson A., Williamson C.E. & Zhang G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters* 42: 10773-10781.
- Pareeth S., Bresciani M., Buzzi F., Leoni B., Lepori F., Ludovisi A., Morabito G., Adrian R., Neteler M., Salmaso N. (2017). Warming trends of perialpine lakes from homogenised time series of historical satellite and in-situ data. 2017. *Science of The Total Environment* 578, 417-426.
- Parise G. & Riva A. (1982). Cladocera remains in recent sediments as indices of cultural eutrophication of Lake Como. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 44(2): 277-287.
- Pavesi P. (1884). *Batimetria del Lago d'Orta*. Rendiconti – Reale Istituto Lombardo.
- Picotti M. (1957). Ricerche nel lago d'Orta. *Bollettino di Pesca, Piscicoltura e Idrobiologia*, 12 (2), 3-36.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2017). Draft Genome Sequence of the Planktic Cyanobacterium *Tychonema bourrellyi*, Isolated from Alpine Lentic Freshwater. *Genome announcements American Society for Microbiology (ASM)* 5: e01294-17.

-
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2018). Draft Genome Sequences of Novel *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, and *Sediminibacterium* Species Strains from a Freshwater Ecosystem. *Genome announcements American Society for Microbiology* 6: e00009-18.
- Piscia R., Guilizzoni P., Fontaneto D., Vignati D.A., Appleby P.G. & Manca M. (2012, January). Dynamics of rotifer and cladoceran resting stages during copper pollution and recovery in a subalpine lake. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 48, No. 2, pp. 151-160). EDP Sciences.
- Piscia R., Tabozzi S., Bettinetti R., Nevalainen L. & Manca M.M. (2016a). Unexpected increases in rotifer resting egg abundances during the period of contamination of Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75.
- Piscia R., Yan N.D. & Manca M.M. (2016b). Mechanisms underlying recovery of zooplankton in Lake Orta after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Poma G., Roscioli C., Guzzella L. (2014). PBDE, HBCD, and novel brominated flame retardant contamination in sediments from Lake Maggiore (Northern Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* 186(11). DOI: 10.1007/s10661-014-3959-3.
- Provincia Autonoma di Trento (1992). Lago di Garda. Relazioni annuali sui rilevamenti idrobiologici. Anni 1988, 1989, 1990, 1991. Stazione Sperimentale Agraria Forestale di S. Michele all'Adige, Settore Ricerche Idrobiologiche ed Ambientali di Riva del Garda. (Relazioni tecniche).
- Provincia Autonoma di Trento (1995). Annali dei dati idrobiologici. Anni 1993-1994. A cura dell'Istituto Agrario di S. Michele all'Adige. (Relazioni tecniche).
- Provincia Autonoma di Trento (2000). Quaderni del Garda, 1996-1999. A cura del Laboratorio di Idrobiologia Forte S. Nicolò, Riva del Garda. (Relazioni tecniche).
- Riccardi N., Froufe E., Lopes-Lima M. & Mazzoli C. (2016). When and how? Freshwater mussel recolonization in Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- 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 oxygenation in the deep subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824, 33-50. DOI: 10.1007/s10750-018-3623-y.
- Salmaso N., Decet F. & Mosello R. (1997). Chemical characteristics and trophic evolution of the deep subalpine Lake Garda (Northern Italy). *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* 56: 51-76.
- Salmaso N. & Naselli-Flores L. (1999). Studies on the zooplankton of the deep subalpine Lake Garda. *Journal of Limnology* 58: 66-76.
- Salmaso R., Mosello L., Garibaldi F., Decet M., Brizzio C. & Cordella P. (2003). Vertical mixing as a determinant of trophic status in deep lakes: a case study from two lakes south of the Alps (Lake Garda and Lake Iseo). *Journal of Limnology* 62: 33-41.
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Morabito G., Rogora M. & Simona M. (2014). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of large lakes south of the Alps: A new emerging paradigm. *Hydrobiologia* 731: 31-48.
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C., Cerasino L., Milan M., Putelli S. & Tolotti M. (2015a). Historical colonization patterns of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria) in a deep lake south of the Alps. *Advances in Oceanography and Limnology* 6: 33-45.
- Salmaso N., Capelli C., Shams S. & Cerasino L. (2015b). Expansion of bloom-forming *Dolichospermum lemmermannii* (Nostocales, Cyanobacteria) to the deep lakes south of the Alps: Colonization patterns, driving forces and implications for water use. *Harmful Algae* 50: 76-87.
- Salmaso N., Cerasino L., Boscaini A. & Capelli C. (2016). Planktic *Tychonema* (Cyanobacteria) in the large lakes south of the Alps: Phylogenetic assessment and toxigenic potential. *FEMS Microbiology Ecology* 92: fiw155.
- Salmaso N., Boscaini A., Cerasino L. (2017). High-throughput sequencing reveals high cyanobacterial diversity in a large perialpine lake. In: XXVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia:

La ricerca ecologica in un mondo che cambia, Napoli, 12-15 settembre 2017. Napoli: Società Italiana di Ecologia: 11. handle: <http://hdl.handle.net/10449/44469>

- Salmaso N., Albanese D., Capelli C., Boscaini A., Pindo M. & Donati C. (2018a). Diversity and Cyclical Seasonal Transitions in the Bacterial Community in a Large and Deep Perialpine Lake. *Microbial Ecology Springer US* 76: 125-143.
- Salmaso N., Anneville O., Straile D. & Viaroli P. (2018b). European large perialpine lakes under anthropogenic pressures and climate change: present status, research gaps and future challenges. *Hydrobiologia* 824: 1-32.
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C. & Cerasino L. (2018c). Ongoing ecological shifts in a large lake are driven by climate change and eutrophication: evidences from a three-decade study in Lake Garda. *Hydrobiologia*, this issue. Springer International Publishing, DOI: 10.1007/s10750-017-3402-1
- Salmaso N. (2019). Effects of habitat partitioning on the distribution of bacterioplankton in deep lakes. *Frontiers in Microbiology* 10: 2257. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02257
- Salmaso N., Boscaini A. & Pindo M. (2019). Unveiling the hidden diversity of photosynthetic and mixotrophic protists in a large and deep subalpine lake using a high throughput sequencing approach. *Seventh European Phycological Congress, European Journal of Phycology* 54: 75. Shams S., C. Capelli, L. Cerasino, A. Ballot, D. R. Dietrich, K. Sivonen, & N. Salmaso, 2015. Anatoxin-a producing *Tychonema* (Cyanobacteria) in European waterbodies. *Water Research* 69: 68-79.
- Tiso A. (1962). I sali nutritivi nelle acque del Lago di Garda. *Arch. Oceanogr. Limnol. Arch. Oceanogr. Limnol.* 12: 361-378.
- Tolotti M., Dubois N., Milan M., Perga M.E., Straile D. & Lami A. (2018). Large and deep perialpine lakes: a paleolimnological perspective for the advance of ecosystem science. *Hydrobiologia Springer International Publishing* 824: 291-321.
- Viaroli P., Azzoni R., Bartoli M., Iacumin P., Longhi D., Mosello R., Rogora M., Rossetti G., Salmaso N. & Nizzoli D. (2018). Persistence of meromixis and its effects on redox conditions and trophic status in Lake Idro (Southern Alps, Italy). *Hydrobiologia Springer International Publishing* 824: 51-69.
- Vignati D.A., Bettinetti R. & Marchetto A. (2016). Long-term persistence of sedimentary copper contamination in Lake Orta: potential environmental risks 20 years after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Vollenweider R.A. (1963). Studi sulla situazione attuale del regime chimico e biologico del Lago d'Orta. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 16, 21-125.
- Volta P., Yan N.D. & Gunn J.M. (2016). Past, present and future of the fish community of Lake Orta (Italy), one of the world's largest acidified lakes. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Volta P., Jeppesen E., Sala P., Galafassi S., Fogliani C., Puzzi C. & Winfield I.J. (2018). Fish assemblages in deep Italian subalpine lakes: history and present status with an emphasis on non-native species. *Hydrobiologia* 824: 255-270.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Articoli ISI (IF) e/o SCOPUS (CiteScore)

- Amalfitano S., Corno G., Eckert E.M., Fazi S., Ninio S., Callieri C., Grossart H.P., Eckert W. (2017). Tracing particulate matter and associated microorganisms in freshwaters. *Hydrobiologia*, 800: 145-154.
- Ambrosetti V., Barbanti L., Rolla A., Castellano L., Sala N. (2012). Hydraulic paths and estimation of the real residence time of the water in Lago Maggiore (N. Italy): application of massless markers transported in 3D motion fields. *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 23-33. CNR.
- Ambrosetti W., Barbanti L. & Carrara E.A. (2010). Mechanisms of hypolimnion erosion in a deep lake (Lago Maggiore, N. Italy). *J. Limnol.*, 69(1): 3-14.

-
- Babica P., Capelli C., Drobac D. & Gkelis S. (2017). Cyanobacterial blooms and toxins in water resources: Occurrence, impacts and management. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: Themed Issue-Cyanobacteria, 1-178.
- Bertoni R., Callieri C., Corno G., Rasconi S., Caravati E. & Contesini M. (2010). Long-term trends of epilimnetic and hypolimnetic bacteria and organic carbon in a deep holo-oligomictic lake. *Hydrobiologia* 644: 279-287.
- Bertoni R., Ambrosetti W. and Callieri C. (2010). Physical constraints in the deep hypolimnion of a subalpine lake driving planktonic Bacteria and Archaea distribution. *Advances in Oceanography and Limnology*, 1 (1): 85-96.
- Bertoni R., Bertoni M., Morabito G., Rogora M., Callieri C. (2016). A non-deterministic approach to forecasting the trophic evolution of lakes. *J. Limnol.*,75(s1): 242-252.
- Bettinetti R., Galassi S., Guzzella L., Quadroni S. & Volta P. (2010). The role of zooplankton in DDT biomagnification in a pelagic food web of Lake Maggiore (Northern Italy). *Environmental Sciences and Pollution Research* 17: 1508-1518.
- Bettinetti R., Garibaldi L., Leoni B., Quadroni S. & Galassi S. (2012). Zooplankton as an early warning system of persistent organic pollutants contamination in a deep lake (lake Iseo, Northern Italy). *Journal of Limnology* 71, 36.
- Bettinetti R., Quadroni S., Manca M., Piscia R., Volta P., Guzzella L., Roscioli C., Galassi S. (2012). Seasonal fluctuations of DDTs and PCBs in zooplankton and fish of Lake Maggiore (Northern Italy). *Chemosphere*, vol. 88 (3): 344-351.
- Bresciani M., Bolpagni R., Braga F., Oggioni A., Giardino C. (2012). Retrospective assessment of macrophytic communities in southern Lake Garda (Italy) from in situ and MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) data, *Journal of Limnology*, vol. 71(1): 180-190.
- Bresciani M., Giardino C., Boschetti L. (2011). Multi-temporal assessment of bio-physical parameters in lakes Garda and Trasimeno from MODIS and MERIS. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43(3): 49-62.
- Bresciani M., Giardino C., Lauceri R., Matta E., Cazzaniga I., Pinardi M., ... & Morabito G. (2016). Earth observation for monitoring and mapping of cyanobacteria blooms. Case studies on five Italian lakes. *Journal of Limnology*. DOI: <http://dx.doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1565>. ISSN 1323-1650.
- Bresciani M., Sotgia C., Fila G.L., Musanti M., Bolpagni R. (2011). Assessing common reed bed health and management strategies in Lake Garda (Italy) by means of Leaf Area Index measurements. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (2): 9-22.
- Bresciani M., Stroppiana D., Montagna M., Fila G., Giardino C. (2009). Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy, *Italian Journal of Remote Sensing*, 41(2): 125-137.
- Bresciani M., Stroppiana D., Odermatt D., Morabito G., Giardino C. (2011). Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes, *Science of the Total Environment*, 409, 3083-3091.
- Bresciani M., Cazzaniga I., Austoni M., Sforzi T., Buzzi F., Morabito G. and Giardino C. (2018). Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8. *Hydrobiologia*, pp.1-18. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3462-2>
- Callieri C. (2016). Micro-players for macro-roles: aquatic microbes in deep lakes. *J. Limnol.* 75(s1): 191-200.
- Callieri C. (2017). *Synechococcus* plasticity under environmental changes. *FEMS Microbiology Letters* 364, fnx229.
- Callieri C., Caravati E., Corno G., Bertoni R. (2012). Picocyanobacterial community structure and space-time dynamics in the subalpine Lake Maggiore (N. Italy). *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 95-103.

-
- Callieri C., Corno G., Caravati E., Rasconi S., Contesini M., Bertoni R. (2009). Bacteria, Archaea, and Crenarchaeota in the Epilimnion and Hypolimnion of a Deep Holo-Oligomictic Lake. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (22): 7298-7300. DOI: 10.1128/AEM.01231-09.
- Callieri C., Corno G., Contesini M., Fontaneto D., Bertoni R. (2017). Transparent exopolymer particles (TEP) are driven by chlorophyll a and mainly confined to the euphotic zone in a deep subalpine lake. *Inland Waters* 7: 118-127.
- Callieri C., Hernández-Avilés S., Salcher M.M., Fontaneto D., Bertoni R. (2016). Distribution patterns and environmental correlates of Thaumarchaeota abundance in six deep subalpine lakes. *Aquatic Sciences*, 78: 215-225.
- Callieri C. (2010). Single cells and microcolonies of freshwater picocyanobacteria: a common ecology. *J. Limnol.*, 69(2): 257-277.
- Callieri C., Bertoni R., Contesini M., Bertoni F. (2014). Lake level fluctuations boost toxic cyanobacterial “oligotrophic blooms”. *PLoS One* 9, e109526.
- Callieri C., Coci M., Eckert E.M., Salcher M.M., Bertoni R. (2014). Archaea and Bacteria in deep lake hypolimnion: in situ dark inorganic carbon uptake. *J. Limnol.* 73: 47-54.
- Cantonati M., Angeli N., Virtanen L., Wojtal A.Z., Gabrieli J., Falasco E., Lavoie I., Morin S., Marchetto A., Fortin C. & Smirnova S. (2014). *Achnanthydium minutissimum* (Bacillariophyta) valve deformities as indicators of metal enrichment in diverse widely-distributed freshwater habitats. *Science of the Total Environment*, 475, 201-215.
- Capelli C., Ballot A., Cerasino L., Papini A. & Salmaso N. (2017). Biogeography of bloom-forming microcystin producing and non-toxicogenic populations of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria). *Harmful Algae* 67: 1-12.
- Capelli C., Cerasino L., Boscaini A. & Salmaso N. (2018). Molecular tools for the quantitative evaluation of potentially toxigenic *Tychonema bourrellyi* (Cyanobacteria, Oscillatoriales) in large lakes. *Hydrobiologia* 824 (1): 109-119. DOI: 10.1007/s10750-018-3513-3
- Cappelletti C., Cianfanelli S., Beltrami M.E. & Ciutti F. (2009). *Sinanodonta woodiana* (Lea 1834) (Bivalvia: Unionidae): A new non-indigenous species in lake Garda (Italy). *Aquatic Invasions* 4: 685-688.
- Caroni R., Free G., Visconti A., Manca M. (2012). Phytoplankton functional traits and seston stable isotopes signature: a functional-based approach in a deep, subalpine lake, Lake Maggiore (N. Italy). *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 84-94.
- Castellano L., Ambrosetti W., Barbanti L. & Rolla A. (2010). The residence time of the water in Lago Maggiore (N. Italy): first results from an Eulerian-Lagrangian approach. *J. Limnol.*, 69(1): 15-28.
- Cattaneo A., De Sève M., Morabito G., Mosello R. and Tartari G. (2011). Periphyton changes over 20 years of chemical recovery of Lake Orta, Italy: differential response to perturbation of littoral and pelagic communities. *J. Limnol.*, 70(2): 177-185.
- Cattaneo A., Michèle D.E., Morabito G., Mosello R. & Tartari G. (2011). Periphyton changes over 20 years of chemical recovery of Lake Orta, Italy: differential response to perturbation of littoral and pelagic communities. *Journal of Limnology*, 70(2), 177-185.
- Cazzaniga I., Bresciani M., Colombo R., Della Bella V., Padula R. and Giardino C. (2019). A comparison of Sentinel-3-OLCI and Sentinel-2-MSI-derived Chlorophyll-a maps for two large Italian lakes. *Remote Sensing Letters*, 10(10), 978-987.
- Cerasino L., Shams S., Boscaini A., Salmaso N. (2016). Multiannual trend of microcystin production in the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in Lake Garda (Italy). *Chem Ecol* 32: 492-506. DOI: 10.1080/02757540.2016.1157175
- Cerasino L. and Salmaso N. (2012). Diversity and distribution of cyanobacterial toxins in the Italian subalpine lacustrine district. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 41: 54-63 DOI: 10.2478/s13545-012-0028-9

-
- Cerasino L., Capelli C. & Salmaso N. (2017). A comparative study of the metabolic profiles of common nuisance cyanobacteria in southern perialpine lakes. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 22-32.
- Ciutti F., Beltrami M.E., Confortini I., Cianfanelli S. & Cappelletti C. (2011). Non-indigenous invertebrates, fish and macrophytes in Lake Garda (Italy). *Journal of Limnology* 70: 315-320.
- Coci M., Odermatt N., Salcher M.M., Pernthaler J., Corno G. (2015). Ecology and distribution of *Thaumarchaea* in the deep hypolimnion of Lake Maggiore. *Archaea* 590434: 11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/590434>
- Corno G.L., Caravati E., Callieri C., Bertoni R. (2008). Effects of predation pressure on bacterial abundance, diversity, and size-structure distribution in an oligotrophic system. *J. Limnol.*, 67(2): 107-119.
- D'Alelio D., Salmaso N., Gandolfi A. (2013). Frequent recombination shapes the epidemic population structure of *Planktothrix* (cyanoprokaryota) in italian sub-alpine lakes. *Journal of Phycology*, 49: 1107-1117.
- D'Alelio D., Gandolfi A., Boscaini A., Flaim G., Tolotti M., Salmaso N., D'Alelio D., Gandolfi A., Boscaini A., Flaim G., Tolotti M. & Salmaso N. (2011). *Planktothrix* populations in subalpine lakes: selection for strains with strong gas vesicles as a function of lake depth, morphometry and circulation. *Freshwater Biology* 56: 1481-1493.
- D'Alelio D., Salmaso N. (2011). Occurrence of an uncommon *Planktothrix* (Cyanoprokaryota, Oscillatoriales) in a deep lake south of the Alps. *Phycologia* 50(4): 379-383. DOI: 10.2216/10-73.1
- De Keukelaere L., Sterckx S., Adriaensen S., Knaeps E., Reusen I., Giardino C., Bresciani M., Hunter P. *et al.* (2018). Atmospheric correction of Landsat-8/OLI and Sentinel-2/MSI data using iCOR algorithm: validation for coastal and inland waters. *European Journal of Remote Sensing*, 51:1, 525-542.
- Di Cesare A., Eckert E.M., Rogora M., Corno G. (2017). Rainfall increases the abundance of antibiotic resistance genes within a riverine microbial community. *Environmental Pollution*. 226: 473-478.
- Di Cesare A., Eckert E., Corno G. (2016). Co-selection of antibiotic and heavy metal resistance in freshwater bacteria. *Journal of Limnology*, vol. 75 (2s) pp. 59-66.
- Di Cesare A., Eckert E.M., Teruggi A., Fontaneto D., Bertoni R., Callieri C. and Corno G. (2015). Constitutive presence of antibiotic resistance genes within the bacterial community of a large subalpine lake. *Mol Ecol*, 24: 3888-3900.
- Di Nicolantonio W., Cazzaniga I., Cacciari A., Bresciani M., Giardino C. (2015). Synergy of multispectral and multisensors satellite observations to evaluate desert aerosol transport and impact of dust deposition on inland waters: study case of Lake Garda. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9: 095980-1-19. ISSN: 1931-3195.
- Eckert E.M., Di Cesare A., Stenzel B., Fontaneto D., Corno G. (2016). *Daphnia* as a refuge for an antibiotic resistance gene in an experimental freshwater community. *Science of the Total Environment*. 571: 77-81.
- Eckert E.M., Di Cesare A., Coci M., Corno G. (2018). Persistence of antibiotic resistance genes in large subalpine lakes: the role of anthropogenic pollution and ecological interactions. *Hydrobiologia* 824, 93-108. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3480-0>
- Fastner J., Abella S., Litt A., Morabito G., Vörös L., Pálffy K., Straile D., Kümmerlin R., Matthews D., Phillips M.G., Chorus I. (2016). Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load-experiences from eight case studies. *Aquatic Ecology*, 50: 367-383.
- Fenocchi A., Rogora M., Morabito G., Marchetto A., Sibilla S., Dresti C. (2018). Applicability of a one-dimensional coupled ecological-hydrodynamic numerical model to future projections in a very deep large lake (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Ecological Modelling* 392, 38-51.

- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Dresti C. (2017). Relevance of inflows on the thermodynamic structure and on the modeling of a deep subalpine lake (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 63: 42-56.
- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Ciampittello M., Dresti C. (2018). Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4094-6>
- Fontanella M.C., Ravera O., Beone G.M., Riccardi N., Cattani I. (2009a). The mercury distribution in the main compartments of the eutrophic Lake Candia (Northern Italy). *J. Limnol.*, 68: 352-358.
- Gallina N., Salmaso N., Morabito G., Beniston M. (2013). Phytoplankton configuration in six deep lakes in the peri-Alpine region: Are the key drivers related to eutrophication and climate? *Aquatic Ecology*, 47: 177-193.
- Giardino C., Bresciani M., Cazzaniga I., Schenk K., Rieger P., Braga F., Matta E., Brando V.E. (2014). Evaluation of Multi-Resolution Satellite Sensors for Assessing Water Quality and Bottom Depth of Lake Garda. *Sensors*, 14: 24116-24131. ISSN: 1424-8220.
- Giardino C., Bresciani M., Matta E., Brando V.E. (2015). Imaging Spectrometry of Inland Water Quality in Italy Using MIVIS: An Overview. In: T. Younos, T.E. Parece (eds.), *Advances in Watershed Science and Assessment, The Handbook of Environmental Chemistry 33*, pp. 61-83. ISSN: 1867-979X, ISBN: 978-3-319-14211-1.
- Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M. (2012). BOMBER: A tool for estimate water quality and bottom properties from remote sensing images. *Computers & Geosciences*, 45:313-318.
- Guanter L., Brell M., Chan J.C.W., Giardino C., Gomez-Dans J., Mielke C., Morsdorf F., Segl K. and Yokoya N. (2018). Synergies of Spaceborne Imaging Spectroscopy with Other Remote Sensing Approaches. *Surveys in Geophysics*, pp.1-31.
- Guilizzoni P., Levine S.N., Manca M., Marchetto A., Lami A., Ambrosetti V., Brauer A., Gerli S., Carrara E.A., Rolla A., Guzzella L., Vignati D. (2012). Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 1-22.
- Guilizzoni P., Marchetto A., Lami A., Gerli S. and Musazzi S. (2010). Use of sedimentary pigments to infer past phosphorus concentration in lakes. *J. Paleolimnol.* (DOI: 10.1007/s10933-010-9421-9).
- Guzzella L.M., Novati S., Casatta N., Roscioli C., Valsecchi L., Binelli A., Parolini M., Solcà N., Bettinetti R., Manca M., Mazzoni M., Piscia R., Volta P., Marchetto A., Lami A., Marziali L. (2018). Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. *Hydrobiologia*, 824(1), 271-290. DOI: 10.1007/s10750-017-3494-7
- Hernández-Avilés S., Callieri C., Bertoni R., Morabito G., Leoni B., Lepori F., Buzzi F., Salmaso N. (2018). Prokaryoplankton and phytoplankton community compositions in five large deep perialpine lakes. *Hydrobiologia*, 824(1), 71-92. DOI: 10.1007/s10750-018-3586-z <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109526>.
- Kamburska L., Lauceri R., Riccardi N. (2013). Establishment of a new alien species in Lake Maggiore (Northern Italy): *Anodonta (Sinanodonta) woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae). *Aquatic Invasions*, vol. 8 (1): 111-116.
- Kampf L., Brauer A., Dulski P., Lami A., Marchetto A., Gerli S., Ambrosetti V., Guilizzoni P. (2012). Detrital layers marking flood events in recent sediments of Lago Maggiore (N. Italy) and their comparison with instrumental data. *Freshwater Biology*, vol. 57: 2076-2090.
- Lenstra W.K., Hahn-Woernle L., Matta E., Bresciani M., Giardino C., Salmaso N., Musanti M., Fila G., Uittenbogaard R., Genseberger M., van der Woerd H.J., Dijkstra H.A. (2014). Diurnal variation of turbulence-related quantities in Lake Garda. *Advances in Oceanography and Limnology*, 5:2, 184-203.

- Leoni B. (2016). Zooplankton predators and prey: body size and stable isotope to investigate the pelagic food web in a deep lake (Lake Iseo, Northern Italy). *Journal of Limnology*.
- Leoni B., Garibaldi L. & Gulati R. (2014a). How does interannual trophic variability caused by vertical water mixing affect reproduction and population density of the *Daphnia longispina* group in Lake Iseo, a deep stratified lake in Italy? *Inland Waters* 4, 193-203.
- Leoni B., Marti C., Imberger J. & Garibaldi L. (2014b) Summer spatial variations in phytoplankton composition and biomass in surface waters of a warm-temperate, deep, oligo-holomictic lake: Lake Iseo, Italy. *Inland Waters* 4, 303–310.
- Leoni B., Nava V. & Patelli M. (2018). Relationships among climate variability, Cladocera phenology and the pelagic food web in deep lakes in different trophic states. *Marine and Freshwater Research*.
- Leoni B., Patelli M., Soler V. & Nava V. (2018). Ammonium transformation in 14 lakes along a trophic gradient. *Water*, 10(3), 265.
- Lopez-Soriano J., Quiñonero-Salgado S., Cappelletti C., Faccenda F. & Ciutti F. (2018). Unraveling the complexity of *Corbicula* clams invasion in Lake Garda (Italy). *Advances in Oceanography and Limnology* 9 (2): 97-104.
- Manca M. (2017). In memoriam of Peppe Morabito. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/aiol.2017.7209>
- Manca M., Rogora M., Salmaso N. (2015). Inter-annual climate variability and zooplankton: applying teleconnection indices to two deep subalpine lakes in Italy. *Journal of Limnology* 74(1): 123-132.
- Manca M., Vijverberg J., Polishchuk L.V., Voronov D.A. (2008). *Daphnia* body size and population dynamics under predation by invertebrate and fish predators in Lago Maggiore: an approach based on contribution analysis. *J. Limnol.*, 67(1): 15-21.
- Manca M.M., Bonacina C. & Yan N.D. (2016). What have we learned about ecological recovery from liming interventions of acid lakes in Canada and Italy? *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Mantzouki E., Campbell J., Van Loon E., Visser P., Konstantinou I., Antoniou M., Giuliani G., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Maronić D.Š., Stević F., Pfeiffer T.Ž., Vucelić I.B., Žutinić P., Udovič M.G., Plenковиć-Moraj A., Tsiarta N., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Christoffersen K.S., Warming T.P., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Kangro K., Häggqvist K., Salmi P., Arvola L., Fastner J., Straile D., Rothhaupt K.O., Fonvielle J., Grossart H.P., Avagianos C., Kaloudis T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Gkelis S., Panou M., McCarthy V., Perello V.C., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Koreivienė J., Karosienė J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Haande S., Skjelbred B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Nawrocka L., Kobos J., Mazur-Marzec H., Alcaraz-Párraga P., Wilk-Woźniak E., Krztoń W., Walusiak E., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwieck M., Pęczuła W., Napiórkowska-Krzebietke A., Dunalska J., Sieńska J., Szymański D., Kruk M., Budzyńska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szelaż-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyasz B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokocinski M., Madrecka B., Kostrzewska-Szlakowska I., Frań M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Ochocka A., Pasztalenie A., Jasser I., Antão-Geraldes A.M., Leira M., Hernández A., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Aleksovski B., Krstić S., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Remec-Rekar S., Elerse T., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrúbia T., Obrador B., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Úbeda B., Gálvez J.Á., Marcé R., Catalán N., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Cillero-Castro C., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Özen A., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Verspagen J.M.H., De Senerpont Domis L.N., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Lürling M., Maliaka V., Faassen E.J., Latour D., Carey C.C., Paerl H.W., Torokne A., Karan T., Demir N., Beklioglu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Çelik

- K., Özhan K., Karakaya N., Koçer M.A.T., Yılmaz M., Maraşlıoğlu F., Fakioglu Ö., Soylu E.N., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkın K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal R., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Alp M.T., Özkan K., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Richardson J., Edwards C., Bergkemper V., O'leary S., Beirne E., Cromie H. & Ibelings B.W. (2018a). A European Multi Lake Survey dataset of environmental variables, phytoplankton pigments and cyanotoxins. *Scientific Data* Nature Publishing Group 5: 180226.
- Mantzouki E., Lüring M., Fastner J., de Senerpont Domis L., Wilk-Woźniak E., Wilk-Woźniak E., Koreivienė J., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Krztoń W., Walusiak E., Karosienė J., Kasperovienė J., Savadova K., Vitonytė I., Cillero-Castro C., Budzinska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szeląg-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyas B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokocinski M., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Karakaya N., Häggqvist K., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Özhan K., Gkelis S., Panou M., Fakioglu Ö., Avagianos C., Kaloudis T., Çelik K., Yılmaz M., Marcé R., Catalán N., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Antoniou M.G., Tsiarta N., McCarthy V., Perello V.C., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkın K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal R., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Richardson J., Visser P.M., Verspagen J.M.H., Karan T., Soylu E.N., Maraşlıoğlu F., Napiórkowska-Krzebietke A., Ochocka A., Pasztaleniec A., Antão-Geraldes A.M., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Špoljarić Maronić D., Stević F., Žuna Pfeiffer T., Fonvielle J., Straile D., Rothhaupt K.O., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Koçer M.A.T., Alp M.T., Remec-Rekar S., Elersek T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Haande S., Skjelbred B., Madrecka B., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Edwards C., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Aleksovski B., Krstić S., Vucelić I.B., Nawrocka L., Salmi P., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrúbia T., Obrador B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Úbeda B., Gálvez J.Á., Özen A., Christoffersen K.S., Warming T.P., Kobos J., Mazur-Marzec H., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Arvola L., Alcaraz-Párraga P., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwiecki M., Pęczuła W., Leira M., Hernández A., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Dunalska J., Sieńska J., Szymański D., Kruk M., Kostrzewska-Szlakowska I., Jasser I., Žutinić P., Gligora Udovič M., Plenković-Moraj A., Frąk M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Özkan K., Maliaka V., Kangro K., Grossart H.P., Paerl H.W., Carey C.C. & Ibelings B.W. (2018b). Temperature effects explain continental scale distribution of cyanobacterial toxins. *Toxins* 10: 156.
- Manzo C., Bresciani M., Giardino C., Braga F., Bassani C. (2015). Sensitivity analysis of a bio-optical model for Italian lakes focused on Landsat-8, Sentinel-2 and Sentinel-3. *European Journal of Remote Sensing*, 48: 17-32. ISSN: 2279-7254.
- Marti C.L., Imberger J., Garibaldi L. & Leoni B. (2016). Using time scales to characterize phytoplankton assemblages in a deep subalpine lake during the thermal stratification period: Lake Iseo, Italy. *Water Resources Research* 52, 1762-1780.
- Mazzoni M., Buffo A., Cappelli F., Pascariello S., Polesello S., Valsecchi S., Volta P., Bettinetti R. (2019). Perfluoroalkyl acids in fish of Italian deep lakes: Environmental and human risk assessment. *Science of the Total Environment*, 653: 351-358.
- Meriluoto J., Blaha L., Bojadzija G., Bormans M., Brient L., Codd G.A., Drobac D., Faassen E.J., Fastner J., Hiskia A., Ibelings B.W., Kaloudis T., Kokocinski M., Kurmayer R., Pantelić D., Quesada A., Salmaso N., Tokodi N., Triantis T.M., Visser P.M. & Svirčev Z. (2017a). Toxic cyanobacteria and cyanotoxins in European waters – recent progress achieved through the CYANOCOST Action and challenges for further research. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 161-178.

- Milan M., Bigler C., Salmaso N., Guella G., Tolotti M. (2015). Multiproxy reconstruction of a large and deep subalpine lake's ecological history since the Middle Ages. *Journal of Great Lakes Research* 41, 982-994. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.08.008
- Milan M., Bigler C., Tolotti M. & Szeroczyńska K. (2017). Effects of long-term nutrient and climate variability on subfossil Cladocera in a deep, subalpine lake (Lake Garda, northern Italy). *Journal of Paleolimnology Springer Netherlands* 58: 335-351.
- Minella M., Leoni B., Salmaso N., Savoye L., Sommaruga R., Vione D. (2016). Long-term trends of chemical and modelled photochemical parameters in four Alpine lakes. *Science of The Total Environment* 541, 247-256. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.149
- Morabito G., Oggioni A., Austoni M. (2012). Resource ratio and human impact: how diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia*, vol. 698: 47-60.
- Morabito G. (2016). Phytoplankton assemblages in Lake Orta: has functional structure recovered in one of the largest acidic lakes in the world? *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Morabito G., Rogora M., Austoni M., Ciampittiello M. (2018). Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia*. 824(1), 163–175 <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3549-4>
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrin M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of The Total Environment* 627, 373-387. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.153.
- Nava V., Patelli M., Soler V. & Leoni B. (2017). Interspecific relationship and ecological requirements of two potentially harmful cyanobacteria in a Deep South-Alpine Lake (L. Iseo, I). *Water* 9(12), 993.
- Nevalainen L., Brown M., Manca M. (2018). Sedimentary Record of Cladoceran Functionality under Eutrophication and Re-Oligotrophication in Lake Maggiore, Northern Italy. *Water*, 10(1), 86.
- Noges T., Anneville O., Guillard J., Haberman J., Jarvalt A., Manca M., Morabito G., Rogora M., Thackeray S., Volta P., Winfield I., Noges P. (2018). Fisheries impacts on lake ecosystem structure in the context of a changing climate and trophic state. *Journal of Limnology*, 77: 46-61.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K., Hampton S.E., Read J.S., Rowley R.J., Schneider P., Lenters J.D., McIntyre P.B., Kraemer B.M., Weyhenmeyer G.A., Straile D., Dong B., Adrian R., Allan M.G., Anneville O., Arvola L., Austin J., Bailey J.L., Baron J.S., Brookes J.D., de Eyto E., Dokulil M.T., Hamilton D.P., Havens K., Hetherington A.L., Higgins S.N., Hook S., Izmet'eva L.R., Joehnk K.D., Kangur K., Kasprzak P., Kumagai M., Kuusisto E., Leshkevich G., Livingstone D.M., MacIntyre S., May L., Melack J.M., Mueller-Navarra D.C., Naumenko M., Noges P., Noges T., North R.P., Plisnier P.-D., Rigosi A., Rimmer M. Rogora, Rudstam L.G., Rusak J.A., Salmaso N., Samal N.R., Schindler D.E., Schladow S.G., Schmid M., Schmidt S.R., Silow E., Soylu M.E., Teubner K., Verburg P., Voutilainen A., Watkinson A., Williamson C.E. & Zhang G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters* 42: 10773-10781.
- Okazaki Y., Salcher M., Callieri C., Nakano S.I. (2018). The broad habitat spectrum of the CL500-11 lineage (Phylum Chloroflexi), a dominant bacterioplankton in oxygenated hypolimnia of deep freshwater lakes. *Front. Microbiol.* 9: 2891.
- Pareeth S., Delucchi L., Metz M., Rocchini D., Devasthale A., Raspaud M., Adrian R., Salmaso N., Neteler M. (2016). New Automated Method to Develop Geometrically Corrected Time Series of

-
- Brightness Temperatures from Historical AVHRR LAC Data. *Remote Sens* 8(3): 169. DOI: 10.3390/rs8030169
- Pareeth S., Bresciani M., Buzzi F., Leoni B., Lepori F., Ludovisi A., Morabito G., Adrian R., Neteler M., Salmaso N. (2017). Warming trends of perialpine lakes from homogenised time series of historical satellite and in-situ data. *Science of The Total Environment* 578, 417-426.
- Pareeth S., Salmaso N., Adrian R., Neteler M. (2016). Homogenised daily lake surface water temperature data generated from multiple satellite sensors: A long-term case study of a large sub-Alpine lake. *Scientific Reports*, 6, art. no. 31251.
- Pilotti M., Valerio G. & Leoni B. (2013). Data set for hydrodynamic lake model calibration: A deep prealpine case. *Water Resources Research* 49, 7159-7163.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2017). Draft Genome Sequence of the Planktic Cyanobacterium *Tychonema bourrellyi*, Isolated from Alpine Lentic Freshwater. *Genome announcements American Society for Microbiology (ASM)* 5: e01294-17.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2018). Draft Genome Sequences of Novel *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, and *Sediminibacterium* Species Strains from a Freshwater Ecosystem. *Genome announcements American Society for Microbiology* 6: e00009-18.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N., Segata N. (2018). Correction for Pinto *et al.* "Draft Genome Sequences of Novel *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, and *Sediminibacterium* Strains from a Freshwater Ecosystem". *Genome announcements* 6, e00169-18. DOI: 10.1128/genomeA.00169-18
- Piscia R., Colombini M., Ponti B., Bettinetti R., Monticelli D., Rossi V. & Manca M. (2015). Lifetime response of contemporary versus resurrected *Daphnia galeata* Sars (Crustacea, Cladocera) to Cu (II) chronic exposure. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 94(1), 46-51.
- Piscia R., Guilizzoni P., Fontaneto D., Vignati D.A., Appleby P.G. & Manca M. (2012, January). Dynamics of rotifer and cladoceran resting stages during copper pollution and recovery in a subalpine lake. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 48, No. 2, pp. 151-160). EDP Sciences.
- Piscia R., Tabozzi S., Bettinetti R., Nevalainen L. & Manca M.M. (2016a). Unexpected increases in rotifer resting egg abundances during the period of contamination of Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75.
- Piscia R., Volta P., Boggero A. & Manca M. (2011). The invasion of Lake Orta (Italy) by the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard 1852): a new threat to an unstable environment. *Aquatic Invasions*, 6(1), S45-S48.
- Piscia R., Yan N.D. & Manca M.M. (2016b). Mechanisms underlying recovery of zooplankton in Lake Orta after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Poma G., Roscioli C., Guzzella L. (2014). PBDE, HBCD, and novel brominated flame retardant contamination in sediments from Lake Maggiore (Northern Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* 186(11). DOI: 10.1007/s10661-014-3959-3.
- Ponti B., Piscia R., Bettinetti R. & Manca M. (2010). Long-term adaptation of *Daphnia* to toxic environment in Lake Orta: the effects of short-term exposure to copper and acidification. *Journal of Limnology*, 69(2), 217-224.
- Ravera O., Beone G.M., Fontanella M.C., Riccardi N., Cattani I. (2009). Comparison between the mercury contamination in populations of *Unio pictorum manicus* (Mollusca, Bivalvia) from two lakes of different trophic state: the oligo-mesotrophic Lake Maggiore and the eutrophic Lake Candia. *J. Limnol.*, 68(2): 359-367. DOI: 10.3274/JL09-68-2-18
- Ravera O., Frediani A., Riccardi N. (2007b) Seasonal variations in population dynamics and biomass of two *Unio pictorum manicus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state. *Limnol. J.*, 66: 15-27.

-
- Ravera O., Beone G., Trincerini P., Riccardi N. (2007a) Seasonal variations in metal content of two *Unio pictorum* *mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state. *Limnol. J.*, 66: 28-39.
- Riccardi N., Giussani G. (2007). The relevance of life history traits in the establishment of the invader *Eudiaptomus gracilis* and the extinction of *Eudiaptomus padanus* in Lake Candia (Northern Italy): evidence for competitive exclusion? *Aquatic Ecology*, 41 (2): 243-254.
- Riccardi N., Lucini L., Benagli C., Welker M., Wicht B., Tonolla M. (2012). Potential of Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization Time-Of-Flight Mass Spectrometry for the identification of freshwater zooplankton: a pilot study with three *Eudiaptomus* (Copepoda: Diaptomidae) species. *J. Plankton Res.*, 34: 484-492. DOI: 10.1093/plankt/fbs022
- Riccardi N., Rossetti G. (2007). *Eudiaptomus gracilis* in Italy: how, where and why. *J. Limnol.*, 66: 64-69.
- Riccardi N., Froufe E., Lopes-Lima M. & Mazzoli C. (2016). When and how? Freshwater mussel recolonization in Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Rogora M., Mosello R., Kamburska L., Salmaso N., Cerasino L., Leoni B., Garibaldi L., Soler V., Lepori F., Colombo L., Buzzi F. (2015). Recent trends in chloride and sodium concentrations in the deep subalpine lakes (Northern Italy). *Environmental Science and Pollution Research* 22:19013-19026. DOI: 10.1007/s11356-015-5090-6
- 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 oxygenation in the deep subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824(1): 33-50. DOI: 10.1007/s10750-018-3623-y
- Rogora M., Kamburska L., Mosello R. & Tartari G. (2016). Lake Orta chemical status 25 years after liming: problems solved and emerging critical issues. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Saidi H., Ciampittiello M., Dresti C., Ghiglieri G. (2013). The climatic characteristics of extreme precipitations for short term intervals in the watershed of Lake Maggiore. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 113 (1-2): 1-15.
- Saidi H., Ciampittiello M., Dresti C., Ghiglieri G. (2015). Assessment of trends in extreme precipitation events: a case study in Piedmont (North-West Italy). *Water. Resour. Manage.* DOI: 10.1007/s11269-014-0826-5. vol. 29, no 1, pp. 63-80.
- Saidi H., Dresti C. & Ciampittiello M. (2016). Fluctuations of Lake Orta water levels: preliminary analyses. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Salmaso N. (2019). Effects of habitat partitioning on the distribution of bacterioplankton in deep lakes. *Frontiers in Microbiology* 10: 2257. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02257
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of large lakes south of the Alps: a new emerging paradigm. *Hydrobiologia*, 731: 31-48. DOI: 10.1007/s10750-013-1659-6
- Salmaso N., Capelli C., Shams S., Cerasino L. (2015). Expansion of bloom-forming *Dolichospermum lemmermannii* (Nostocales, Cyanobacteria) to the deep lakes south of the Alps: Colonization patterns, driving forces and implications for water use. *Harmful Algae* 50, 76-87. DOI: 10.1016/j.hal.2015.09.008
- Salmaso N., Copetti D., Cerasino L., Shams S., Capelli C., Boscaini A., Valsecchi L., Pozzoni F., Guzzella L. (2014). Variability of microcystin cell quota in metapopulations of *Planktothrix rubescens*: Causes and implications for water management. *Toxicon*, 90: 82-96.
- Salmaso N., Buzzi F., Garibaldi L., Morabito G. & Simona M. (2012). Effects of nutrient availability and temperature on phytoplankton development: a case study from large lakes south of the Alps. *Aquatic Sciences* 74, 555-570.
- Salmaso N., Cerasino L., Boscaini A., Capelli C. (2016). Planktic *Tychonema* (Cyanobacteria) in the large lakes south of the Alps: Phylogenetic assessment and toxigenic potential. *FEMS Microbiology Ecology*; DOI: 10.1093/femsec/fiw155.

-
- Salmaso N. (2012). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of a deep lake south of the Alps. *Climate Research*. 51: 125–133, 2012. DOI: 10.3354/cr01063.
- Salmaso N. and Mosello R. (2010). Limnological research in the deep southern subalpine lakes: synthesis, directions and perspectives. *Advances in Oceanography and Limnology* 1: 29-66.
- Salmaso N. (2010). Long-term phytoplankton community changes in a deep subalpine lake: responses to nutrient availability and climatic fluctuations. *Freshwater Biology* 55: 825-846. DOI: b10.1111/j.1365-2427.2009.02325.x
- Salmaso N. (2011). Interactions between nutrient availability and climatic fluctuations as determinants of the long term phytoplankton community changes in Lake Garda, Northern Italy. *Hydrobiologia* 660: 59-68. DOI: 10.1007/s10750-010-0394-5
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C. & Cerasino L. (2018c). Ongoing ecological shifts in a large lake are driven by climate change and eutrophication: evidences from a three-decade study in Lake Garda. *Hydrobiologia*, 824(1), 177-195, DOI: 10.1007/s10750-017-3402-1
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C., Cerasino L., Milan M., Putelli S. & Tolotti M. (2015a). Historical colonization patterns of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria) in a deep lake south of the Alps. *Advances in Oceanography and Limnology* 6: 33-45.
- Salmaso N., Albanese D., Capelli C., Boscaini A., Pindo M., Donati C. (2018). Diversity and Cyclical Seasonal Transitions in the Bacterial Community in a Large and Deep Perialpine Lake. *Microbial Ecology* 76: 125-143. DOI: 10.1007/s00248-017-1120-x
- Salmaso N., Cerasino L. (2012). Long-term trends and fine year-to-year tuning of phytoplankton in large lakes are ruled by eutrophication and atmospheric modes of variability. *Hydrobiologia* 698: 17-28.
- Salmaso N., Anneville O., Straile D. & Viaroli P. (2018b). European large perialpine lakes under anthropogenic pressures and climate change: present status, research gaps and future challenges. *Hydrobiologia* 824(1), 1-32.
- Salmaso N., Boscaini A., Shams S., Cerasino L. (2013). Strict coupling between the development of *Planktothrix rubescens* and microcystin content in two nearby lakes south of the Alps (lakes Garda and Ledro). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 49 (4): 309-318. DOI: 10.1051/limn/2013064
- Shams S., Capelli C., Cerasino L., Ballot A., Dietrich D.R., Sivonen K., Salmaso N. (2015). Anatoxin-a producing *Tychonema* (Cyanobacteria) in European waterbodies. *Water Research* 69: 68-79.
- Shams S., Cerasino L., Salmaso N., Dietrich D.R. (2014). Experimental models of microcystin accumulation in *Daphnia magna* grazing on *Planktothrix rubescens*: Implications for water management. *Aquatic Toxicology* 148: 9-15.
- Sharma S., Gray D.K., Read J.S., O'Reilly C.M., Schneider P., Quadrat A., Gries C., Stefanoff S., Hampton S.E., Hook S., Lenters J.D., Livingstone D.M., McIntyre P.B., Adrian R., Allan M.G., Anneville O., Arvola L., Austin J., Bailey J., Baron J.S., Brookes J., Chen Y., Daly R., Dokulil M., Dong B., Ewing K., de Eyto E., Hamilton D., Havens K., Haydon S., Hetzenauer H., Heneberry J., Hetherington A.L., Higgins S.N., Hixson E., Izmet'eva L.R., Jones B.M., Kangur K., Kasprzak P., Köster O., Kraemer B.M., Kumagai M., Kuusisto E., Leshkevich G., May L., MacIntyre S., Müller-Navarra D., Naumenko M., Noges P., Noges T., Niederhauser P., North R.P., Paterson A.M., Plisnier P.-D., Rigosi A., Rimmer A., Rogora M., Rudstam L., Rusak J.A., Salmaso N., Samal N.R., Schindler D.E., Schladow G., Schmidt S.R., Schultz T., Silow E.A., Straile D., Teubner K., Verburg P., Voutilainen A., Watkinson A., Weyhenmeyer G.A., Williamson C.E., Woo K.H. (2015). A global database of lake surface temperatures collected by in situ and satellite methods from 1985-2009. *Scientific Data* 2, 150008. DOI: 10.1038/sdata.2015.8
- Sommer S., Nandini S., Sarma S.S.S., Ozgul A. & Fontaneto D. (2016). Rotifers in Lake Orta: a potential ecological and evolutionary model system. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Sommer S., Piscia R., Manca M.M., Fontaneto D. & Ozgul A. (2016). Demographic cost and mechanisms of adaptation to environmental stress in resurrected *Daphnia*. *Journal of Limnology*, 75(s2).

- Sommer S., van Benthem K.J., Fontaneto D. & Ozgul A. (2017). Are generic early-warning signals reliable indicators of population collapse in rotifers? *Hydrobiologia*, 796(1), 111-120.
- Spyrakos E., O'Donnell R., Hunter P.D., Miller C., Scott M., Simis S.G., Neil C., Barbosa C.C., Binding C.E., Bradt S. and Bresciani M. (2018). Optical types of inland and coastal waters. *Limnology and Oceanography*, 63(2), pp. 846-870.
- Tapolczai K., Anneville O., Padisák J., Salmaso N., Morabito G., Zohary T., Tadonleke R.D., Rimet F. (2015). Occurrence and mass development of *Mougeotia* spp. (Zygnemataceae) in large, deep lakes. *Hydrobiologia* 745: 17-29.
- Taranu Z.E, Gregory-Eaves I., Leavitt P.R., Bunting L., Buchaca T., Catalan J., Domaizon I., Guilizzoni P., Lami A., McGowan S., Moorhouse H., Morabito G., Pick F.R., Stevenson M.A., Thompson P.L., Vinebrooke R.D. (2015). Acceleration of cyanobacterial dominance in north temperate-subarctic lakes during the Anthropocene. *Ecology letters* 18: 375-384.
- Tolotti M., Dubois N., Milan M., Perga M.E., Straile D. & Lami A. (2018). Large and deep perialpine lakes: a paleolimnological perspective for the advance of ecosystem science. *Hydrobiologia* 824: 291-321.
- Valerio G., Pilotti M., Barontini S. & Leoni B. (2015). Sensitivity of the multiannual thermal dynamics of a deep pre-alpine lake to climatic change. *Hydrological Processes* 29, 767-779.
- Viaroli, P., Azzoni R., Bartoli M., Iacumin P., Longhi D., Mosello R., Rogora M., Rossetti G., Salmaso N. & Nizzoli D. (2018). Persistence of meromixis and its effects on redox conditions and trophic status in Lake Idro (Southern Alps, Italy). *Hydrobiologia* 824: 51-69.
- Vignati D.A., Bettinetti R. & Marchetto A. (2016). Long-term persistence of sedimentary copper contamination in Lake Orta: potential environmental risks 20 years after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Villa P., Bresciani M., Braga F., Bolpagni R. (2014). Comparative Assessment of Broadband Vegetation Indices Over Aquatic Vegetation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7: 3117-3127. ISSN: 1939-1404.
- Villa P., Laini A., Bresciani M., Bolpagni R. (2013). A remote sensing approach to monitor the conservation status of lacustrine *Phragmites australis* beds. *Wetlands Ecology and Management*, 21: 399-416.
- Villa P., Mousivand A., Bresciani M. (2014). Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modelling and linear mixture simulation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30: 113-127. ISSN: 1569-8432.
- Visconti A., Caroni R., Rawcliffe R., Fadda A., Piscia R., Manca M. (2018). Defining Seasonal Functional Traits of a Freshwater Zooplankton Community Using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ Stable Isotope Analysis. *Water*, 10(2), 108.
- Visconti A., Manca M., de Bernardi R. (2008). Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lago Maggiore (N. Italy) zooplankton in contrasting years. *Limnol. J.*, 67(2): 87-92.
- Visconti A. & Manca M. (2010). The invasive appearance of *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars 1863) in Lago Maggiore. *Limnol. J.*, 69(2): 353-357.
- Vollenweider R.A. (1963). Studi sulla situazione attuale del regime chimico e biologico del Lago d'Orta. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 16, 21-125.
- Volta P., Jeppesen E., Sala P., Galafassi G., Fogliani C., Winfield I.J. (2018). Fish assemblages in deep Italian subalpine lakes: history and present status with an emphasis on non-native species. *Hydrobiologia*, 824:255-270.
- Volta P., Tremolada P., Neri M.C., Giussani G., Galassi S. (2009). Age-Dependent Bioaccumulation of Organochlorine Compounds in Fish and their Selective Biotransformation in Top Predators from Lake Maggiore (Italy). *Water Air & Soil Pollution*, 197(1-4): 193-209. DOI: 10.1007/s11270-008-9803-z

- Volta P. & Giussani G. (2010). Weight-length relationships (WLRs) and von Bertalanffy growth function (VBGF) parameters of *Alosa agone*, *Rutilus pigus* and the anadromous *Salmo trutta* from a deep south-alpine lake: Lago Maggiore (northern Italy). *Journal of Applied Ichthyology* 26: 474-476.
- Volta P., Yan N.D. & Gunn J.M. (2016). Past, present and future of the fish community of Lake Orta (Italy), one of the world's largest acidified lakes. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Yan N.D., Bailey J., McGeer J.C., Manca M.M., Keller W.B., Celis-Salgado M.P. & Gunn J.M. (2016). Arrive, survive and thrive: essential stages in the re-colonization and recovery of zooplankton in urban lakes in Sudbury, Canada. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Zweerus N.L., Sommer S., Fontaneto D. & Ozgul A. (2017). Life-history responses to environmental change revealed by resurrected rotifers from a historically polluted lake. *Hydrobiologia*, 796(1), 121-130.

Articoli non ISI

- Cappelletti C. & Ciutti F. (2017). Bivalvi alloctoni nel Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Ciutti F. & Cappelletti C. (2017). Invasioni biologiche: il caso del Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Ciutti F., Flaim G. & Cappelletti C. (2017). La medusa *Craspedacusta sowerbii* Lankester: nuova osservazione nei laghi trentini e distribuzione in Italia. *Biologia Ambientale* 31: 174-177.
- Ciutti F., Flaim G., Beltrami M.E. & Cappelletti C. (2014). Non-indigenous fish fauna in Trentino lakes (Northern Italy). *Italian Journal of Freshwater Ichthyology* 192-201.
- Mosello R., Ambrosetti W., Arisci S., Bettinetti R., Buzzi F., Calderoni A., Carrara E., De Bernardi R., Galassi S., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Oggioni A., Pagnotta R., Ricci D., Rogora M., Salmaso N., Simona M., Tartari G., Veronesi M., Volta P. (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biol. Ambient.* 24, 167-177.
- Piscia R., Volta P., Boggero A. & Manca M. (2011). Segnalazione di *Procambarus clarkii* (Girard 1852), una specie aliena invasiva, nel Lago d'Orta (Piemonte). *Biologia Ambientale*, 25(1), 71-73.
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014). Influenza delle fluttuazioni climatiche sui grandi laghi a sud delle Alpi: implicazioni nel contesto del riscaldamento globale. *Biologia Ambientale*, 28(2), 17-32.

Libri o capitoli di libro

- Bernard C., Ballot A., Thomazeau S., Maloufi S., Furey A., Mankiewicz-Boczek J., Pawlik-Skowronska B., Capelli C. & Salmaso N. (2017). Appendix 2. Cyanobacteria associated with the production of cyanotoxins In: Meriluoto J., Spoof L. & Codd G. A. (Eds.), *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester: 501-525.
- Bertin F. & Bortoli A. (Eds.) (2009). *Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian*. ANSAC, Rome.
- Boscaini A. (2009). Natural and anthropogenic loads of nutrients In: Bertin F. & Bortoli A. (Eds.), *Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian*. ANSAC, Roma: 51-63.
- Callieri C., Eckert E., Di Cesare A. and Bertoni F. (2018). Aquatic Ecology. Microbial Communities. *Encyclopedia of Ecology*. Second Edition. Elsevier.
- Callieri C., Cronberg G. & Stockner J. (2012). Freshwater Picocyanobacteria: Single Cells, Microcolonies and Colonial Forms. In: *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. B. Whitton (Ed.). Second edition. Springer Publishers: 229-269.
- Giardino C., Bresciani M., Braga F., Cazzaniga I., De Keukelaere L., Knaeps E., Brando V.E. (2017). Bio-Optical Modeling of Total Suspended Solids. In: "Bio-Optical Modelling and Remote Sensing of

Inland Waters”, Ogashawara I., Mishra D. and Gitelson A. (Eds.), *Bio-optical Modeling and Remote Sensing of Inland Waters*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804644-9.00005-7> © 2017 Elsevier Inc.

Jasser I., Callieri C. (2017). Picocyanobacteria – the smallest cellsize cyanobacteria. In: Meriluoto J, Spoof L., Codd G. A. (Ed.s) *CYANOCOST Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*: 112.

Meriluoto J., Spoof L. & Codd G.A. (2017b). *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester.

Kokociński M., Akçalan R., Salmaso N., Stoyneva-Gärtner M.P. & Sukenik A. (2017). Expansion of Alien and Invasive Cyanobacteria. In Meriluoto, J., Spoof L. & Codd G.A. (eds), *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester: 28-39.

Report

CNR-ISE, Sede di Verbania (2007). *Ricerche sull’evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere* (Ed.).

CNR-ISE, Sede di Verbania (2016). *Ricerche sull’evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2013-2015. Campagna 2015 e Rapporto triennale 2013-2015. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere* (Ed.): pp. 146.

Ciampittiello M., Volta P., Saidi H., Dresti C., Cerutti I., Zellino C. & Morabito G. (2017). *Relazione finale sulle attività oggetto del contratto per il servizio di indagine limnologica sul lago e sulla palude di Candia – Report CNR-ISE, 01.17.*

Volta P., Rogora M., Piscia R., Beltrami M. (2016). *Relazione annuale 2015-2016 ITTIORTA*. pp. 27.

Volta P., Rogora M., Piscia R., Beltrami M. (2016). *Relazione annuale 2016-2017 ITTIORTA*. pp. 30.

Volta P., Rogora M., Piscia R., Beltrami M. (2016). *Relazione annuale 2017-2018 ITTIORTA*. pp. 22.