

## 18. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti con le ricerche condotte nel 2015 hanno, in sostanza, confermato le tendenze evolutive generali dell'ecosistema, secondo quanto registrato negli anni precedenti. Tuttavia, soprattutto per alcuni parametri, è evidente come vi sia una elevata variabilità interannuale, in buona parte legata a fattori meteo-climatici. Tale variabilità, peraltro, può confondere il quadro generale, se non analizzata in una prospettiva di lungo periodo.

Quindi, è chiaro che il mantenimento di lunghe serie temporali di misurazioni dei parametri chimici, fisici e biologici rappresenta un elemento cruciale riguardo alla possibilità di interpretare correttamente i fenomeni osservati. In quest'ottica, per ognuna delle singole ricerche, i dati raccolti nel 2015 e, complessivamente, le osservazioni relative al triennio 2013-2015, sono stati confrontati, dove possibile, con l'andamento pluriennale delle variabili di interesse.

Dal punto di vista climatico, nel triennio 2013-2015 abbiamo avuto tre anni diversi per pluviometria e clima e quindi anche per caratteristiche idrologiche; in particolare si può dire che il 2013 è da considerarsi un anno meteorologico e idrologico medio, il 2014 è stato caratterizzato da un evento di piena, a novembre e il 2015 è stato un anno mediamente poco piovoso e particolarmente siccitoso negli ultimi mesi (novembre e dicembre). Nel complesso, tuttavia, le piogge medie annuali risultano superiori alla media rispetto ai due periodi di riferimento, 1978-2012 e 1921-1977, soprattutto grazie alle elevate precipitazioni del 2014, culminate con l'evento di piena del 16 novembre. D'altro canto, il 2015 è stato caratterizzato da un regime irregolare delle precipitazioni, con i primi due mesi dell'anno caratterizzati da piovosità superiore alle medie storiche di riferimento (1921-1977 e 1978-2014), primavera ed inizio estate asciutte, ripresa delle precipitazioni nella seconda parte dell'estate (con valori molto sopra la media in settembre) ed autunno siccitoso, con assenza quasi totale di eventi in novembre e dicembre. A fronte di questo andamento, il livello del lago ha subito forti oscillazioni durante l'intero anno, raggiungendo valori molto bassi nel mese di dicembre, sebbene vi siano stati altri anni, nella serie storica, nei quali il livello medio in dicembre è stato inferiore a quello registrato nel 2015. Tuttavia, il valore medio del triennio è risultato superiore a quello del periodo di riferimento, 1952-2012, anche in conseguenza del fatto che nel 2015 e, in parte, già nel 2014, i livelli del lago sono stati mantenuti più alti artificialmente per verificare la possibilità di un innalzamento dei livelli nel periodo estivo.

Questa situazione è stata accompagnata da temperature medie invernali dell'aria decisamente superiori alla media pluriennale, con la conseguenza che il mescolamento della colonna d'acqua per moti convettivi è stato estremamente ridotto nel 2014 e nel 2015, fermandosi a meno di 100 metri di profondità, valore ulteriormente diminuito rispetto a quello registrato nel 2013 (120 metri). Inoltre, le misurazioni del contenuto di calore della massa lacustre hanno fatto registrare un leggero aumento rispetto ai 5 anni precedenti: la quantità di calore contenuta nell'ipolimnio profondo del lago, sede della così detta "memoria climatica", dopo un periodo in diminuzione dal 2005 al 2007 ha ripreso ad aumentare. L'analisi delle relazioni con i parametri meteo-climatici ha messo in evidenza che il riscaldamento delle acque lacustri e le dinamiche di mescolamento sono influenzate, soprattutto, dalla variabilità climatica a scala di

bacino, mentre è minore l'effetto delle oscillazioni climatiche a scala continentale, rappresentate, nello studio effettuato, dall'indice della NAO: ciò dipende, essenzialmente, dalla posizione geografica del Lago Maggiore, a sud della catena alpina, che forma una sorta di barriera rispetto ai flussi delle masse d'aria provenienti dal Nord Europa. Le dinamiche idrologiche del Lago Maggiore sono state analizzate, nel 2015, applicando un modello idrologico monodimensionale, che, probabilmente, permetterà di fare delle simulazioni sugli effetti del riscaldamento delle acque e sull'impatto che questo avrà sulla profondità di mescolamento.

Il perdurare di questa condizione di scarso mescolamento verticale della massa d'acqua si riflette in modificazioni dell'ambiente chimico lacustre, come i dati raccolti nell'ultimo triennio hanno confermato: per esempio, nel 2015, le concentrazioni medie annue di fosforo reattivo e totale (valori medi sull'intera colonna d'acqua) sono state pari a 9 e 12  $\mu\text{g P l}^{-1}$  rispettivamente. I corrispondenti valori alla circolazione tardo-invernale sono stati di 11 e 14  $\mu\text{g P l}^{-1}$ . In entrambi i casi di stratta dei valori massimi rilevati nell'ultimo decennio (2006-2015) e più in generale dalla prima metà degli anni '90. Più in generale, ad essere aumentati sono sia i valori massimi misurati alla circolazione tardo invernale che i minimi estivi, soprattutto per l'aumento dei valori in ipolimnio, mentre le concentrazioni nelle acque superficiali sono rimaste pressoché costanti.

Si conferma quindi la tendenza all'aumento del contenuto di fosforo nelle acque del lago, evidente soprattutto a partire dal 2011, a fronte di apporti dal bacino, che sono rimasti pressoché costanti negli ultimi 10 anni e che non hanno mostrato situazioni preoccupanti: 6 tributari su 11, nel 2015, hanno presentato concentrazioni medie di fosforo totale pari o inferiori a 11  $\mu\text{g P l}^{-1}$  e altri 6 tributari con valori compresi tra 23 e 31  $\mu\text{g P l}^{-1}$ . Il progressivo accumulo di fosforo nel lago avrebbe, dunque, la sua causa principale nello scarso rimescolamento nel periodo tanto invernale.

Lo stesso processo è alla base della progressiva riduzione del contenuto di ossigeno nelle acque ipolimniche e soprattutto nello strato al di sotto dei 200 m di profondità. Il dato di fine novembre 2015 è stato di 6,27  $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$  come concentrazione e 52% come percentuale di saturazione, ovvero i minimi assoluti dell'ultimo decennio. Inoltre, i dati pluriennali mostrano che la porzione di lago interessata da concentrazioni di ossigeno inferiori a 7,0  $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$  sta progressivamente aumentando. La variabilità meteorologica incide anche sugli apporti di nutrienti dai tributari, come dimostrano i dati sui carichi di azoto e fosforo registrati nel 2015, marcatamente inferiori a quelli del 2014, in virtù dei differenti afflussi meteorici rilevati nei due anni, rispettivamente superiori e inferiori alla media di lungo periodo.

Da diversi anni a questa parte, è ormai chiaro come i fattori meteo-climatici giochino un ruolo fondamentale anche nel controllare la dinamica del plancton nel Lago Maggiore. Gli studi condotti nel 2015 e, più in generale, nel triennio 2013-2015, hanno confermato queste relazioni: temperature più miti e precipitazioni più intense e concentrate in periodi brevi possono favorire la dominanza di alcune popolazioni fitoplanctoniche e, in certe condizioni, favorire lo sviluppo di fioriture. Sia l'anno 2015 che i due precedenti sono stati caratterizzati, per quanto riguarda il fitoplancton, dalla forte dominanza delle diatomee di grandi dimensioni, apparentemente non più limitate dalla disponibilità di silice, come avveniva nel passato: come è stato osservato in rapporti precedenti, precipitazioni elevate possono apportare al lago notevoli quantità di silice, essendo il bacino del Lago Maggiore di natura silicea. Questo elemento, il cui esaurimento durante lo sviluppo primaverile rappresenta di solito il principale

fattore limitante per il proseguimento della crescita delle diatomee, sarebbe risultato quindi presente in concentrazioni tali da sostenere la produzione di questi organismi fino al tardo autunno. Accanto a questo fenomeno, anomalie climatiche positive, con temperatura dell'aria superiore a 30°C per più giorni, come avvenuto nel 2011 e nel 2015, possono avere stimolato la proliferazione eccessiva di altri organismi, come la cloroficea *Mougeotia* sp., protagonista di una consistente fioritura nel luglio di quest'anno. Un recente studio (si veda, al riguardo il capitolo 15) ha messo in evidenza come il Lago Maggiore si stia riscaldando ad un ritmo piuttosto rapido (0,31 °C per decade): si può, dunque, prevedere che nel prossimo secolo le fioriture algali aumentino fino al 20%, e quelle di cianobatteri del 5%.

Peraltro, accanto a questi segnali, piuttosto chiari, di cambiamenti in atto, bisogna rilevare come gli indicatori di stato trofico legati al fitoplancton (clorofilla e biomassa), non abbiano mostrato, fino a questo momento, segnali di un'inversione di tendenza: il perdurare di una condizione di oligotrofia è confermato anche dall'andamento del carbonio organico, sia nel triennio 2013-'15, che nel quinquennio precedente. Questo parametro ha mostrato evidenti fluttuazioni stagionali ed interannuali, soprattutto nello strato epilimnico, probabilmente legate alle dinamiche del fitoplancton: tuttavia, i valori medi annui non sono mai stati superiori alla soglia critica di 1 mg L<sup>-1</sup>. Le stesse fluttuazioni del popolamento fitoplanctonico sarebbero responsabili anche dell'abbondanza relativa delle particelle esopolimeriche trasparenti (TEP, Transparent Exopolymeric Particles), che fanno parte del *pool* del carbonio organico. Questo parametro, il cui studio ha avuto inizio nel 2013, risulta, infatti, ben correlato con la concentrazione della clorofilla *a* e mostra evidenti picchi nello strato interessato dai processi produttivi. In quest'ottica, la misura delle TEP, inoltre, potrebbe essere utile per fornire indicazioni su alcuni processi metabolici a carico del fitoplancton e sulla variabilità di questi in relazione alle condizioni ambientali.

Le modificazioni strutturali del fitoplancton hanno, ovviamente, ripercussioni anche sulla composizione dello zooplancton: come riportato nel presente rapporto, è possibile che le oscillazioni del popolamento a cladoceri nell'arco del triennio siano state influenzate dalla qualità del cibo disponibile, in quanto le diatomee di grosse dimensioni, come *Fragilaria crotonensis*, risultano, tipicamente, poco appetibili per questi organismi. In generale, i valori medi annui di densità di popolazione del popolamento zooplanctonico di rete pelagico totale nel triennio 2013-2015 sono risultati costanti intorno ai 35000 ind. m<sup>-3</sup>, ma ridotti se confrontati con i quinquenni 2003-2007 e 2008-2012. Tale riduzione è risultata a maggiormente a carico della componente a rotiferi, ma anche, seppur in misura minore delle componenti a ciclopidi e a cladoceri, questi ultimi soprattutto negli anni 2014 e 2015.

Accanto a valutazioni sulla struttura dei popolamenti e sui fattori che ne guidano le modificazioni, nell'arco del triennio 2013-2015 sono state svolte indagini mirate a caratterizzare le interazioni trofiche riguardanti la componente zooplanctonica pelagica e la fauna ittica.

L'analisi delle fonti alimentari dello zooplancton è stata effettuata attraverso la quantificazione degli isotopi stabili di carbonio ed azoto ed ha mostrato un quadro pressoché costante nei tre anni esaminati, dove le variazioni stagionali del *fingerprint* isotopico del carbonio sono legate allo sviluppo della stratificazione termica, con segnali che diventano via via meno negativi all'aumentare della temperatura nell'acqua, mentre, per quanto riguarda il segnale isotopico dell'azoto, si osserva un arricchimento dell'isotopo pesante dalla primavera all'inverno. Tendenzialmente il

popolamento a cladoceri sembra sussistere sulle stesse fonti alimentari e i risultati hanno evidenziato ruoli di vicarianza trofica tra i consumatori primari. I ciclopidi, invece, hanno evidenziato la loro appartenenza, dati i ristretti intervalli di variazione dei segnali isotopici, a una nicchia trofica ben definita. Inoltre, il costante impoverimento nell'isotopo pesante del carbonio, con valori caratteristici delle acque più profonde, suggerisce una vera e propria separazione spaziale di questi organismi.

Relativamente all'ittiofauna, l'indagine triennale ha messo in evidenza la prevalenza delle specie alloctone, sia recenti, che introdotte in epoca storica ed acclimatatesi. Questo è evidente, soprattutto, nella parte centro-meridionale del lago, probabilmente a causa del regime termico delle acque di quest'area, notoriamente più calda e produttiva rispetto alla regione più settentrionale, oltre che con una morfologia delle rive più dolce, meno profonda e dunque più facilmente colonizzabile da specie come gardon, acerina, carassio e siluro.

Lo studio della sovrapposizione di nicchia alimentare delle tre specie ittiche con attitudini potenzialmente pelagiche più marcate, ha messo in evidenza che questa è in alcuni casi significativa e marcata soprattutto nel periodo invernale. Ciò è dovuto probabilmente al fatto che in questo periodo la produzione lacustre è ridotta, fattore che costringe le tre specie ittiche (coregone bondella, gardon ed agone) ad alimentarsi dei pochi organismi disponibili nell'ambiente (essenzialmente copepodi ciclopidi, cladoceri e organismi bentonici, quali larve di insetto, gammaridi, ostracodi, oligocheti). Al contrario, nel periodo estivo, periodo in cui la produzione lacustre è massima, la sovrapposizione della nicchia trofica è limitata e, dunque, la competizione per le risorse alimentari poco marcata. Tra le tre specie, la bondella è quella che potrebbe risentire maggiormente della competizione per le risorse alimentare specialmente in un ambiente poco produttivo, essendo "stretta" tra due specie ittiche potenzialmente in competizione con essa ma che tra loro mostrano una dieta con uno spettro piuttosto diverso e poco sovrapponibile.

Sebbene non sia qui possibile trarre conclusioni certe sull'impatto della competizione per le risorse alimentari tra le tre specie (che potrebbe manifestarsi in diversi modi tra cui una variazione della fecondità relativa delle singole specie o diverso grado di mortalità durante le fasi giovanili), è quantomeno curioso notare che le variazioni più significative del pescato commerciale di coregone bondella negli ultimi 20 anni sembrano aver seguito, quantomeno parzialmente, le variazioni del pescato di agone e gardon

Le indagini sull'ambiente pelagico del Lago Maggiore hanno avuto, da sempre, un duplice significato: da un lato, raccogliere dati sul funzionamento dell'ecosistema, per comprenderne meglio i meccanismi ed approfondirne le conoscenze, anche nell'ottica di fornire indicazioni gestionali sempre più precise, dall'altro, mettere in evidenza possibili criticità, che potrebbero limitare l'uso del lago come risorsa e far venire meno alcuni dei servizi ecosistemici che questo ambiente può offrire. Tenendo presenti queste finalità, vengono, periodicamente, proposte e, quando possibile, avviate nuove attività di ricerca: tra queste, la valutazione dell'antibiotico resistenza nei batteri, iniziata *ex novo* nel 2013 e proseguita per l'intero triennio. Questa linea di ricerca, che affronta un problema di sicuro interesse generale, per le sue possibili ricadute sulla salute pubblica, ha permesso di far emergere come, anche nel Lago Maggiore la resistenza specifica ad antibiotici sintetici sia presente e diffusa. Sebbene questo risultato sia compatibile con il quadro di un ambiente il cui bacino imbrifero risulta soggetto ad una forte pressione antropica, i dati indicano che la situazione

generale non è ancora a livello di emergenza. Tuttavia, l'utilizzo crescente delle acque lacustri a fini diversi dovrebbe essere programmato in modo da tenere in considerazione l'esistenza di una contaminazione da antibiotici ed il possibile sviluppo di patogeni ad essi resistenti, considerando che un eventuale adeguamento dei sistemi di depurazione non è una soluzione definitiva e l'utilizzo di antibiotici, seppur in calo secondo le fonti ufficiali, è comunque ancora massivo, sia nel settore della salute umana che, soprattutto, in quello agricolo-zootecnico.

In conclusione, i dati ottenuti nel corso del triennio 2013-2015, confermano che il Lago Maggiore mantiene tuttora quella condizione prossima all'oligotrofia, che ne ha caratterizzata l'evoluzione recente. Peraltro, come osservato in occasione di precedenti indagini, lo stato ecologico attuale del lago è il risultato di un equilibrio tra il controllo imposto dai fattori meteorologici e quello legato alla pressione antropica che ancora grava sull'ecosistema. Sebbene i dati raccolti abbiano messo in evidenza come gli interventi volti alla riduzione dei carichi di origine antropica stiano dando buoni risultati, al tempo stesso si conferma che i carichi da fonti diffuse, spesso soggetti alle fluttuazioni delle condizioni meteo-climatiche, debbano essere oggetto di attenzione.

In sostanza, l'equilibrio determinato, da un lato, dagli interventi volti a limitare l'impatto antropico e, dall'altro, dagli effetti della variabilità climatica, rimane precario e suscettibile di alterazioni, soprattutto a seguito di eventi estremi, come episodi di siccità o d'ingenti precipitazioni: accanto a questi, 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.

Per la diagnosi precoce degli effetti perturbanti, spesso non conclamati nelle fasi iniziali, e per la loro mitigazione è indispensabile poter disporre della serie storica dettagliata ed esauriente di dati limnologici che l'attività di ricerca limnologica sostenuta dalla CIP AIS senz'altro garantisce, diversamente dal meno esaustivo monitoraggio " a norma di legge". Soltanto una sorveglianza adeguata, basata su una frequenza di campionamento congrua con la velocità di cambiamento delle variabili fisiche, chimiche e biologiche nell'ambiente naturale e su metodologie analitiche sufficientemente sensibili, precise ed accurate, potrà garantire la capacità diagnostica necessaria per individuare precocemente un eventuale deterioramento qualitativo delle acque lacustri.

## ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

### RESPONSABILE SCIENTIFICO DELLA RICERCA

Dr. Giuseppe Morabito

### RESPONSABILE AMMINISTRATIVO:

Dr. Marina Manca (Direttore Istituto per lo Studio degli Ecosistemi)

### ELENCO DEGLI AUTORI

Dr. Walter Ambrosetti	Limnologo fisico
Dr. Martina Austoni	Idrobiologo
Prof. Luigi Barbanti	Limnologo fisico
Dr. Roberto Bertoni	Microbiologo Acquatico
Dr. Cristiana Callieri	Microbiologo Acquatico
Per. Ind. Igorio Cerutti	Tecnico in Ittiologia
Ing. Marzia Ciampittello	Limnologo fisico
Per. Ind. Mario Contesini	Tecnico in Microbiologia
Dr. Gianluca Corno	Microbiologo Acquatico
Dr. Andrea Di Cesare	Microbiologo Acquatico
Ing. Claudia Dresti	Limnologo fisico
Dr. Ester Eckert	Microbiologo Acquatico
Dr. Paola Giacomotti	Idrochimico
Sig. Dario Manca	Tecnico in ICT
Dr. Marina Manca	Idrobiologo
Dr. Giuseppe Morabito	Idrobiologo
Per. Arianna Orrù	Tecnico in Idrochimica
Dr. Roberta Piscia	Idrobiologo
Dr. Michela Rogora	Idrochimico
Dr. Angelo Rolla	Limnologo fisico
Ing. Helmi Saidi	Limnologo fisico
Per. Chim. Gabriele A. Tartari	Tecnico in Idrochimica
Dr. Pietro Volta	Ittiologo

### ELENCO DEI COLLABORATORI

Sig.na Evelina Crippa	Tecnico in limnologia fisica
-----------------------	------------------------------

### INDIRIZZO DI RIFERIMENTO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi  
Sede di Verbania  
Largo V. Tonolli 50/52  
28922 – VERBANIA PALLANZA

### Ringraziamenti

*Si ringrazia l'Ing. Andrea Fenocchi dell'Università degli Studi di Pavia, con il quale è stato sviluppato il modello GLM per il Lago Maggiore.*