

9. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti con le ricerche condotte nel 2014 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 2014 sono stati confrontati, dove possibile, sia con i risultati ottenuti nel 2013 che con l'andamento pluriennale delle variabili di interesse.

Gli eventi meteorologici occorsi nel 2014 hanno avuto forti ripercussioni sulle caratteristiche idrologiche e fisiche del Lago Maggiore, come descritto nei primi due capitoli del rapporto.

Ricordiamo qui che, nel quadro della variabilità climatica interannuale, il 2014 è stato un anno eccezionale, per quanto riguarda le piogge cadute sul bacino: in quest'anno si sono registrati, mediamente all'interno del bacino del Lago Maggiore, 2225 mm, valore al di sopra della media pluriennale

Il 32% circa delle stazioni ha registrato valori di pioggia compresi tra i 2000 e i 2500 mm, il 19% circa tra i 2500 e i 3000 mm e l'11% circa superiori ai 3000 mm.

Questa elevata quantità di pioggia ha portato innalzamenti dei livelli dei fiumi e dei laghi tali da generare il 16 novembre il raggiungimento di una quota di esondazione del Lago Maggiore pari a 196.87 m s.l.m., terza piena per importanza dopo quelle del 1993 e del 2000.

Tale valore è il risultato di piogge superiori alla media, cadute nei primi tre mesi dell'anno, a luglio, agosto, ottobre e soprattutto alle eccezionali piogge di novembre. Questi eventi hanno, ovviamente, influito anche sull'andamento delle portate dei tributari del Lago Maggiore. Infatti tutti i corsi d'acqua di cui si sono ricavate le portate hanno mostrato valori annuali superiori alla media, mediamente del 150%, con un picco registrato del mese di novembre, quando le portate sono state superiori a quelle dei periodi di riferimento, valutate per lo stesso mese, mediamente intorno al 355%.

Per quanto riguarda la dinamica del mescolamento invernale, le misurazioni effettuate nel 2014 hanno dimostrato che la circolazione verticale invernale per moti convettivi è giunta a soli 65 metri di profondità, mentre il contenuto di calore invernale è aumentato sino a 5051 MJ m⁻² che costituisce il valore più elevato dopo quello del 1998. La concentrazione di ossigeno nell'ipolimnio si è mantenuta tra 6,5 e 7 mg l⁻¹. Questi dati confermano che un mescolamento profondo e completo del Lago Maggiore si può considerare un evento poco frequente: le analisi condotte nel 2014 hanno cercato di stabilire quale sia il controllo esercitato dai parametri climatici, sia a scala continentale, che a scala locale sui meccanismi di mescolamento.

Le analisi statistiche hanno permesso di valutare come le forze climatiche locali e globali si manifestano su ciascuna delle diverse variabili che definiscono

l'ecosistema lacustre invernale, così da prevedere uno sviluppo futuro dei vari meccanismi.

L'azione del mutamento climatico globale, gioca un ruolo non trascurabile nel condizionare i meccanismi interni all'ecosistema e, nella fattispecie, la termodinamica di un lago profondo come il Maggiore. In particolare il forcing a larga scala incide sui contenuti energetici, mentre agli effetti delle profondità di mescolamento e della concentrazione di ossigeno profondo l'effetto locale assume un ruolo determinante.

Una delle conseguenze del riscaldamento climatico in atto potrebbe quindi essere l'incremento del rischio di anossie delle acque profonde dei grandi laghi, con conseguenze che, a lungo termine, potrebbero anche contrastare gli sforzi fatti per debellare gli effetti dell'eutrofizzazione.

E' ormai accertato che, nel Lago Maggiore, esistono legami molto stretti tra le forzanti climatiche e le dinamiche del plancton. L'influenza dei fattori meteo-climatici è stata verificata anche nel 2014: una primavera piovosa, ma relativamente calda, ha favorito lo sviluppo del fitoplancton già dal mese di febbraio, rendendo disponibile, fin dall'inizio della primavera, una quantità di alimento non trascurabile per lo zooplancton filtratore. Infatti, è stato possibile evidenziare un aumento precoce, già dal mese di marzo, della densità numerica del popolamento zooplanctonico di rete, come di consueto dovuto alla crescita dei rotiferi e degli stadi naupliari dei copepodi. L'andamento generale del popolamento zooplanctonico di rete è stato fortemente influenzato dalla componente a rotiferi, soprattutto nei mesi primaverili. Come evidenziato nel capitolo 3, un brusco incremento della densità numerica è stato osservato in aprile ed ancora a maggio, mese nel quale si è raggiunto il massimo valore di densità numerica, per il 66% determinato dal rotifero coloniale *Conochilus unicornis-hippocrepis* gr.

Nel 2014, d'altro canto, è stato molto contenuto lo sviluppo numerico dei cladoceri zooplanctonici del Lago Maggiore. Il dato medio annuo è risultato pari a circa un terzo di quello registrato nello scorso anno. I primi cinque mesi del 2014 sono stati caratterizzati dalla presenza di *Daphnia hyalina-galeata* ed *Eubosmina longispina* con valori di densità molto modesti anche a Maggio, quando il picco di densità è stato stimato in circa 3300 ind m⁻³, decisamente in controtendenza rispetto ai valori degli altri anni del quinquennio e di quelli del quinquennio precedente.

La successione del fitoplancton, anch'essa condizionata dalla situazione meteo-climatica, si è svolta con una dinamica molto simile a quella osservata nel 2013: infatti, anche il 2014 si potrebbe definire un anno "a diatomee", essendo stati questi gli organismi algali costantemente dominanti in termini di biomassa, durante l'arco dell'intero anno.

Sulla dinamica del popolamento a diatomee è rilevante sottolineare come la concausa di questa costante dominanza nel 2014 potrebbe essere dovuta, ancora una volta, a eventi meteorologici eccezionali. Infatti, i mesi primaverili sono stati caratterizzati da precipitazioni di portata eccezionale che potrebbero avere contribuito al mantenimento a lago di concentrazioni costanti e sufficientemente elevate di silicati, tali da non limitare lo sviluppo del popolamento a diatomee fino alla tarda estate.

Peraltro, questo gruppo algale non ha raggiunto livelli quantitativi paragonabili a quelli misurati nel 2013: tra le possibili concause del minore sviluppo potrebbe

esserci la ridotta profondità di mescolamento dell'inverno 2013-2014, essendo noto che le diatomee sono favorite da una elevata turbolenza delle acque.

I dati del 2014 confermano alcuni mutamenti osservati negli ultimi anni, come la presenza, tra le dominanti, di specie a carattere meso-eutrofo e la riduzione di altre con esigenze oligotrofe, che farebbero pensare ad una tendenza verso un miglioramento qualitativo delle acque lacustri.

Le dinamiche della successione fitoplanctonica osservate nel 2014, quindi, confermano la tendenza evidenziata negli ultimi anni, secondo cui, a fronte di uno stretto controllo sui carichi puntiformi di nutrienti, è divenuto sempre più importante il ruolo degli apporti da fonti diffuse, soprattutto in relazione all'azione di eventi meteorologici estremi, il cui effetto, sul lungo termine, potrebbe essere simile a quello prodotto dal processo di eutrofizzazione sperimentato dal lago negli anni '60-'70.

Le ricerche sul plancton hanno fornito altre indicazioni interessanti sulla dinamica dei rapporti trofici: i dati di *fingerprint* isotopico di carbonio e azoto ottenuti per i singoli *taxa* analizzati sono stati confrontati con quelli relativi al pool delle tre frazioni dimensionali del popolamento zooplanctonico pelagico di rete, utilizzati per la determinazione degli inquinanti organici persistenti (cfr., Rapporto CIP AIS DDT 2014), quali descrittori sintetici del popolamento zooplanctonico. La tendenza dei ciclopidi ad utilizzare basi alimentari diverse da quella rappresentata da *Daphnia* è in linea con quanto rilevato nel corso degli anni del quinquennio. Tale tendenza risulta ancor più interessante alla luce del fatto che *Cyclops* adulto sembra avere un ruolo non trascurabile nel veicolare gli inquinanti organici persistenti ai pesci zooplanctivori. Nel loro complesso, pertanto, i risultati relativi alle indagini condotte nel 2014 suggeriscono che le informazioni veicolate dalle diverse frazioni dimensionali dipendono dalla struttura del popolamento e da quanto quest'ultimo sia eterogeneo in termini di taglia corporea degli organismi.

Inoltre, i risultati delle analisi isotopiche hanno confermato quanto già osservato negli anni precedenti, ovvero che le variazioni stagionali dei *taxa* zooplanctonici analizzati sono state influenzate dallo sviluppo della stratificazione termica, passando da valori di $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ più impoveriti nell'isotopo pesante del carbonio a valori meno impoveriti, con il progredire del riscaldamento.

Per quanto riguarda la dinamica stagionale del carbonio organico, strettamente legata alle fluttuazioni degli organismi planctonici, nel 2014 la concentrazione di TOC è stata massima nel periodo estivo (1.264 mg L⁻¹ in giugno come valore medio nella zona fotica, 1780 µg L⁻¹ in superficie in luglio) per poi decrescere progressivamente negli ultimi mesi dell'anno con il minimo di 0.612 mg L⁻¹, valore medio della zona afotica in novembre. Nel 2014 la concentrazione di TOC si è mantenuta prossima ai valori misurati nel quinquennio precedente, confermando la sostanziale stabilità dello stato trofico del Lago Maggiore.

La componente mucillaginosa nota come TEP (Transparent Exopolymeric Particles), di recente inserita tra i parametri investigati, arriva ad un massimo di 776 µg L⁻¹ a 10 m in estate. Inoltre si nota un perdurare in lago di alte concentrazioni di TEP anche fino ad ottobre. In estate le percentuali di TEP sono arrivate al 56% nei primi 10-15 metri. La comparsa in tarda estate di forme coloniali di cianobatteri, con le tipiche sostanze polisaccaridiche extra cellulari, potrebbe essere una delle cause delle alte concentrazioni di TEP. La massima concentrazione di TEP qui misurata (di poco inferiore a 800 µg L⁻¹) è risultata superiore a quella media di 22 laghi della zona

nord temperata ($256 \mu\text{g L}^{-1}$), sebbene il Lago Maggiore sia attualmente in una condizione di oligotrofia.

Per quanto riguarda la frazione disciolta, la CDOM (Chromophoric Dissolved Organic Matter) è risultata essere una componente importante del DOM negli strati più profondi nei mesi invernali, mentre nell'estate 2014 la componente autoctona, a basso peso molecolare, ha dominato il DOM in tutta la colonna d'acqua. Infatti, nel mese di febbraio, cioè in un periodo stagionale normalmente di bassa produzione algale, la produzione autoctona autotrofa è risultata essere il maggior costituente del TOC nella zona epilimnica, fatto questo da porre in relazione con le peculiarità climatiche dell'inverno 2014.

Il secondo anno di monitoraggio della presenza di antibiotico-resistenze nel Lago Maggiore ha confermato il quadro di un lago fortemente antropizzato dove resistenze specifiche ad antibiotici sintetici sono presenti e diffuse. Questa situazione pur essendo lontana dall'essere ottimale non ci pone per ora in uno stato di emergenza, ma sicuramente di pre-allarme in quanto l'utilizzo delle acque del Lago a fini diversi è già elevato ed andrà ad aumentare nei prossimi anni, mentre 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.

L'andamento in crescita delle abbondanze dei principali geni di resistenza (tetracicline, solfonamidi, beta-lattamici, aminoglicosidi) preoccupa e richiede un affinamento delle ricerche, oltre che alla costituzione di una serie temporale tale da permetterci di destagionalizzare i dati e valutarli nella loro consistenza reale.

Per quanto riguarda la chimica lacustre, alcuni dati ottenuti nel 2014 inducono a mantenere elevata la soglia di attenzione riguardo a possibili modificazioni della qualità ecologica delle acque del Maggiore, sebbene vi siano stati dei miglioramenti per quanto riguarda la qualità delle acque dei tributari più inquinati. In particolare, le concentrazioni medie annue di fosforo reattivo e totale (valori medi sull'intera colonna d'acqua) sono state di 9 e $11 \mu\text{g P L}^{-1}$ rispettivamente. I corrispondenti valori nelle acque superficiali (epilimnio) e profonde (ipolimnio) sono stati di 3 e $6 \mu\text{g P L}^{-1}$ e 9 e $12 \mu\text{g P L}^{-1}$. I valori del 2014 confermano quindi la tendenza all'aumento delle concentrazioni di fosforo nelle acque del lago, iniziata a partire dal 2011.

I massimi tardo invernali nel periodo 2012-2014 hanno raggiunto valori di $10 \mu\text{g P L}^{-1}$ per il fosforo reattivo e $12-13 \mu\text{g P L}^{-1}$ per il totale, di $1-2 \mu\text{g P L}^{-1}$ più elevati rispetto a quelli rilevati negli anni precedenti (2005-2011). Anche i minimi estivi si sono spostati verso valori leggermente più elevati (es. $7 \mu\text{g P L}^{-1}$ per il fosforo reattivo, nel 2013 e 2014, rispetto a $5-6 \mu\text{g P L}^{-1}$). Si tratta comunque di variazioni contenute; le concentrazioni, inoltre, rimangono ben lontane da quelle che avevano interessato il lago nel periodo dell'eutrofizzazione. Potrebbe trattarsi di una fase transitoria, dovuta sia a variazioni negli apporti dal bacino che ad un progressivo accumulo di fosforo a causa dello scarso rimescolamento delle acque del lago negli ultimi anni.

Per quanto riguarda le altre variabili chimiche, i nitrati sono rimasti stabili nel 2014 (tra 800 e $850 \mu\text{g N L}^{-1}$ come valori medi sulla colonna), confermando una riduzione dei valori degli ultimi anni rispetto a tutto il periodo 1990-2000. Questa diminuzione recente è da attribuire ad un calo negli apporti di nitrati attraverso le

deposizioni atmosferiche, che nell'areale del Lago Maggiore rappresentano il principale veicolo di azoto agli ecosistemi acquatici.

Anche per quanto riguarda l'ossigeno, i valori, sia al di sotto dei 200 m di profondità che nell'intero ipolimnio, sono rimasti stabili nel 2014 rispetto agli anni immediatamente precedenti (tra 6,5 e 7,5 mg O₂ L⁻¹ e tra 54 e 63% come % di saturazione nello stato al di sotto dei 200 m). Pur trattandosi di valori più bassi rispetto a quelli del 2006, quando si raggiunsero i 9,5-10 mg O₂ L⁻¹ a seguito della piena circolazione delle acque, si tratta comunque di valori indicativi di una buona ossigenazione delle acque.

Le concentrazioni medie dei composti di fosforo e azoto sono state nel 2014 inferiori a quelle degli anni precedenti nei Torrenti Bardello e Boesio, a conferma di una tendenza al miglioramento della qualità delle acque di questi tributari. Si sono verificati invece degli aumenti nei valori di fosforo totale in alcuni tributari (es. Ticino Immissario, San Bernardino, Cannobino), a causa delle concentrazioni superiori alla media misurate nel periodo autunnale, in corrispondenza di un evento di piena determinato dalle abbondanti precipitazioni. Anche in questo caso è evidente che eventi climatici eccezionali possono avere ripercussioni importanti sulla chimica lacustre, con effetti a cascata sul comparto biotico e, più in generale, sulla qualità ecologica delle acque.

La ricerca accessoria sullo stato della fauna ittica è stata focalizzata, nel 2014, sulla regione centro-settentrionale del Lago Maggiore: i risultati ottenuti, unici nel loro genere, rappresentano dunque, insieme a quanto già presentato lo scorso anno, un elemento di novità e una utile base di confronto per valutare in futuro l'evoluzione della comunità ittica del Lago Maggiore. Essi dunque costituiscono un punto di partenza fondamentale per lo sviluppo e il mantenimento di una serie storica di riferimento relativa alla fauna ittica di questo ecosistema lacustre, confrontabile con quanto già presente per molti altri laghi europei e altri laghi italiani.

Il quadro che deriva dai campionamenti effettuati in questa indagine è di tipo puntuale, riferendosi ad un preciso intervallo stagionale (quello estivo che, tuttavia, è ritenuto il più affidabile in termini di rappresentatività). Le caratteristiche salienti della comunità ittica possono essere riassunte come segue:

- le specie ittiche alloctone, sia recenti che introdotte in epoca storica ed acclimatatesi, prevalgono sia in numero che in biomassa rispetto alle specie autoctone e sono distribuite lungo tutta la colonna d'acqua sia nella zona litorale che in quella pelagica.
- Gli onnivori dominano nella zona litorale e sublitorale, mentre i planctivori nella zona pelagica.
- Tra le specie pelagiche domina nettamente il coregone bondella, e tra le specie litorali dominano pesce persico e gardon.

Le informazioni relative all'analisi della nicchia alimentare delle tre specie più importanti hanno messo in evidenza che, sebbene vi sia una certa sovrapposizione, specialmente nel periodo invernale, durante la stagione estiva (più produttiva) questa risulta essere relativamente bassa.

Tuttavia, soprattutto tra agone e coregone bondella, i valori di sovrapposizione della nicchia trofica, mediamente pari a 0,6 e in alcuni mesi piuttosto elevati, potrebbe spiegare, almeno in parte, l'evoluzione delle abbondanze di queste due specie ittiche così come registrate dall'andamento del pescato commerciale.

In conclusione, i dati ottenuti nel corso del 2014 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 nel corso del 2014 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 meteorologiche, 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 oppure introduzione di sostanze o organismi capace di alterare la rete trofica. 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.