

5. CONCLUSIONI

I risultati emersi dalle ricerche effettuate nel quinquennio 2003-2007 e presentati nelle pagine precedenti, mettono in luce importanti peculiarità dell'evoluzione recente del Lago Maggiore. Infatti, se da una parte viene confermata la costante tendenza verso l'oligotrofia e quindi la buona qualità generale delle acque lacustri, dall'altra si sono andate manifestando situazioni critiche per la fruibilità, dal punto di vista quantitativo e qualitativo, dalla risorsa idrica costituita dal Lago Maggiore. Tali situazioni verosimilmente sono da porre in relazione all'evoluzione climatica globale in atto pur se, almeno per il comparto biologico, il nesso causale non è facilmente individuabile data la complessità delle relazioni tra clima, organismi e ambiente fisico e chimico nel quale essi vivono.

Per quanto riguarda la criticità della risorsa dal punto di vista quantitativo, basta ricordare che le precipitazioni del bacino idrografico del Lago Maggiore nel quinquennio 2003-2007 sono state mediamente inferiori rispetto a quelle dei periodi di riferimento (1978-2002 e 1921-1977) in tutti i mesi dell'anno, fatta eccezione per Agosto e Dicembre.

Le precipitazioni, nel quinquennio, evidenziano un andamento molto particolare, dovuto essenzialmente alle elevate piogge del mese di Agosto. La doppia ciclicità caratteristica delle piogge del bacino del Lago Maggiore non è stata così evidente durante il quinquennio analizzato, come lo è stata, invece per i periodi di riferimento. Inoltre in questi ultimi cinque anni il massimo primaverile (Maggio) è stato, anche se di poco, superiore a quello autunnale (Ottobre), in contrasto con quanto avvenuto nel quinquennio precedente, dove il massimo autunnale ha sempre superato quello primaverile.

Infine le portate dei maggiori tributari del lago hanno evidenziato un abbassamento delle medie quinquennali rispetto a quelle del periodo di riferimento, fatta eccezione per il Cannobino che ha visto permanere le sue portate su valori più elevati. I maggiori abbassamenti si sono registrati nei mesi di Settembre, Ottobre e Novembre, cioè nei mesi autunnali. L'andamento dei corsi d'acqua riflette molto da vicino quello delle piogge, diminuite anch'esse negli stessi mesi. Sono stati rilevati abbassamenti abbastanza consistenti anche nei mesi di Maggio, Giugno e Luglio, probabilmente imputabili ad un maggiore utilizzo della risorsa idrica. In particolare, i corsi d'acqua che hanno risentito maggiormente, in questi ultimi cinque anni, sia dei cambiamenti climatici, sia di elevati utilizzi delle loro acque, sono il Torrente San Giovanni e il Torrente Margorabbia.

Un aspetto dell'interazione clima-lago di estrema importanza riguarda il contenuto di calore nella massa d'acqua lacustre. Nell'ultimo quinquennio si è rilevata una sua evidente diminuzione nei valori massimi e minimi dovuta soprattutto all'inserimento in profondità di acqua fredda di provenienza fluviale o derivante dal maggior raffreddamento delle zone litorali nei periodi tardo-invernali. È comunque da sottolineare la mancanza di mescolamento verticale completo per moti convettivi; questo tipo di circolazione in effetti non ha superato i 200 m di profondità negli ultimi anni. Nonostante ciò le acque profonde hanno mantenuto durante tutti i 5 anni una buona concentrazione di O₂ grazie all'apporto delle acque fluviali del quale si è detto sopra. Le limitate profondità di mescolamento per convezione nel quinquennio sono da ricercare nell'incremento, in questi ultimi anni, della radiazione solare, delle temperature massime invernali e, di effetto opposto, nella diminuzione del percorso del vento. C'è pure da sottolineare che nel periodo 2003-2007 si è avuta nel Lago Maggiore

una sola piena, mentre le magre negli stessi anni sono state sei con una durata complessiva di 329 giorni, rispetto ai soli 4 giorni di durata delle piene. L'importanza degli eventi di magra nel contesto idrologico generale del Lago Maggiore è quindi stata notevole nel quinquennio e non sono mancate conseguenze di natura ecologica sulle fasce litorali ad elevata valenza ecologica e sull'intero ecosistema lacustre. Sono pure state negativamente influenzate la navigazione pubblica e la fruibilità turistica. È possibile, inoltre, che i ridotti livelli estivi siano stati almeno concausa delle già illustrate fioriture estive di cianobatteri verificatesi negli anni 2005 e 2006.

Per quanto riguarda lo stato trofico del lago i dati relativi al quinquennio 2003-2007 ne confermano il miglioramento complessivo, conseguente alla diminuzione degli apporti di nutrienti dal bacino imbrifero. I risultati dimostrano anche come la variabilità idrologica interannuale svolga un ruolo importante, sia per quanto riguarda la chimica delle acque lacustri che quella dei tributari. I volumi di precipitazione ridotti che hanno caratterizzato gli anni più recenti, in particolare il 2003 ed il 2005 che sono risultati essere gli anni più siccitosi dell'ultimo trentennio, hanno avuto dei riflessi sulla variabilità stagionale di alcune variabili chimiche nelle acque lacustri, così come sui carichi di nutrienti veicolati a lago. Alla luce di queste considerazioni, nel valutare l'evoluzione futura del livello trofico delle acque ed in generale del loro chimismo, si dovrà inevitabilmente tener conto della variabilità climatica, in particolare della intensificazione di eventi estremi quali precipitazioni intense e periodi di siccità.

Coerentemente con la qualificazione dello stato trofico emergente dai dati idrochimici, i dati raccolti sui popolamenti algali nel quinquennio 2003-2007 hanno confermato le caratteristiche di fitoplancton oligotrofo già emerse nel quinquennio precedente. Queste appaiono ormai consolidate e dunque, a questo punto dell'evoluzione trofica del Lago Maggiore, sembra difficile pensare ad un'inversione di tendenza. In questa fase dell'evoluzione del Lago Maggiore, quindi, non sono più i fattori legati all'eutrofizzazione quelli che maggiormente controllano le dinamiche del fitoplancton, ma, piuttosto, sono diventati predominanti i fattori fisici, in particolare quelli influenzati dalla variabilità delle condizioni meteo-climatiche. In questo contesto i mutamenti climatici globali e le loro ripercussioni sul clima locale, potrebbero giocare un ruolo chiave nel condizionare lo svolgimento delle successioni fitoplanctoniche negli anni a venire. È lecito quindi ipotizzare che, nel prossimo futuro, saranno soprattutto le variabili dell'ambiente fisico e, di conseguenza, i fattori meteo-climatici ad esercitare un controllo sui tempi e sulle modalità dello sviluppo algale. Del resto, si è visto che la forte riduzione estiva dei livelli può aver avuto un ruolo importante nel determinare lo scadimento qualitativo delle acque lacustri imputabile alle fioriture estive di Cianobatteri degli anni 2005 e 2006. Va sottolineato che questo scadimento, tutt'altro che trascurabile per la nota potenziale tossicità dei cianobatteri, si è manifestato al di fuori di un quadro ascrivibile *tout court* ad una condizione di eutrofia.

Dall'impatto dei mutamenti climatici non è esente lo zooplancton, fondamentale anello di congiunzione tra i produttori primari e i pesci. In effetti la temperatura media annuale è andata progressivamente aumentando ed anche profondità e durata della stratificazione termica si sono modificate, con un'anticipata e una più estesa fase di riscaldamento delle acque. Questi mutamenti sono molto importanti per lo zooplancton perchè possono agire direttamente, promuovendo un più veloce metabolismo a livello d'individui, popolazioni e comunità, ed indirettamente, attraverso i fattori legati alla dinamica spazio-temporale della stratificazione termica. L'instaurarsi di quest'ultima si traduce, per lo zooplancton di laghi profondi di zone temperate come il Maggiore, nella

transizione da un ambiente nel quale il cibo è diluito ad uno nel quale esso diviene più concentrato e ricco, tale da favorire l'iniziale incremento nella fecondità che sottende al successivo sviluppo numerico delle sue popolazioni.

Sia gli effetti indiretti che quelli diretti del riscaldamento climatico sono per certi aspetti paragonabili a quelli conseguenti all'eutrofizzazione; fra gli altri, s'ipotizzano un aumento della biomassa, una diminuzione della biodiversità e della taglia media. Tuttavia, sebbene su base annuale le risposte possano a prima vista sembrare sovrapponibili a quelle viste con l'eutrofizzazione, e dunque in qualche misura prevedibili sulla base dei risultati ottenuti dalle ricerche relative a tale fenomeno, esse se ne discostano in termini di dinamica stagionale: specie che in passato risultavano presenti per periodi molto brevi possono infatti far parte integrante del popolamento zooplanctonico per un periodo anche lungo dell'anno, anche in seguito a modificazioni importanti nelle strategie riproduttive. Organismi che erano soliti andare in dormienza durante il periodo freddo possono perdurare in lago per tutto l'arco dell'anno. Al contrario, specie che non avevano mai prodotto stadi duraturi possono iniziare a farlo, in conseguenza del deteriorarsi della qualità dell'alimento e/o di una incrementata pressione di predazione. Tali risposte al mutamento nelle condizioni dell'ambiente sono in larga misura ancora inesplorate, nonostante le conoscenze maturate in anni e anni di sperimentazione di laboratorio sugli effetti della temperatura sullo sviluppo e la crescita di organismi zooplanctonici. In laghi per i quali si disponga di dati sulle modificazioni nella temperatura e nel regime di stratificazione termica è quanto mai importante riuscire a tradurre tali informazioni in un dato che sia utilizzabile dal punto di vista biologico: tale operazione consente di chiarire i meccanismi attraverso i quali i cambiamenti climatici, ed in particolare il riscaldamento, agiscono a livello di comunità e di ecosistema.

In mancanza di queste informazioni non è di fatto possibile prevedere i nuovi scenari derivanti dalle modificazioni climatiche. Sulla base delle conoscenze attuali sul funzionamento degli ecosistemi è però legittimo ipotizzare che l'importanza degli effetti diretti del riscaldamento sulle biocenosi sia di gran lunga inferiore a quello degli effetti indiretti, mediati dai rapporti trofici, ad esso conseguenti.

Nel quinquennio 2003-2007, accanto a elementi che confermano il trend pluriennale dell'evoluzione recente del lago, quali il più precoce sviluppo di alcune specie di cladoceri, ve ne sono altri a sostegno dell'esistenza di forte intervariabilità interannuale, che rende abbastanza difficile allo stato attuale prevedere la dinamica stagionale e l'entità dello sviluppo numerico delle popolazioni componenti il popolamento zooplanctonico del lago. Questo largo margine d'incertezza potrebbe essere interpretato come un segno di maggiore vulnerabilità, o di maggiore visibilità, dell'influenza delle variabili meteo-climatiche sullo zooplancton lacustre.

La progressiva oligotrofizzazione del lago è confermata dal permanere anche nel corso dell'ultimo quinquennio della diminuzione di concentrazione del carbonio organico nel Lago Maggiore, iniziata nel corso degli anni '80. Questo trend evolutivo del carbonio organico in lago è evidente, pur se mascherato dalla variabilità stagionale, sia negli strati più produttivi superficiali, approssimativamente corrispondenti con la zona eufotica, che negli strati profondi del lago, che costituiscono l'ipolimnio afotico. La diminuzione di concentrazione del carbonio organico totale e della sua frazione particellata è risultata statisticamente significativa in entrambe le zone nel periodo 1990-2007. Tuttavia la diminuita disponibilità di substrato organico non ha avuto l'effetto di ridurre la densità dei popolamenti batterici che, al contrario, sono andati

incontro ad un significativo incremento numerico nell'ultimo quinquennio, ben evidente nonostante la cospicua variabilità stagionale ed interannuale di questo parametro. La relazione inversa tra abbondanza di carbonio organico e numero di batteri mostra che, nel lungo termine, non è la concentrazione di substrato a limitare lo sviluppo dei popolamenti batterici eterotrofi. Anche per questa componente della catena alimentare, quindi, si potrebbe ipotizzare l'esistenza di un nesso tra il riscaldamento globale in atto, che certamente influenza il Lago Maggiore, e l'accresciuta abbondanza dei popolamenti batterici. Le conoscenze su questi ultimi negli ambienti naturali, ancora scarse per obiettive difficoltà metodologiche, rendono precaria ed incerta qualsiasi ipotesi su un possibile scenario di sviluppo della microflora batterica lacustre nel quadro del riscaldamento globale in atto. È però certo che in questo momento è necessario intensificare le ricerche in questo settore per disporre della base conoscitiva necessaria a valutare le modificazioni future del batterioplancton, frazione poco conosciuta ma importante delle catene alimentari acquatiche. Questa importanza emerge da ricerche che mettono in rilievo dei batteri non solo come mineralizzatori del detrito organico ma anche come riciclatori di carbonio organico attraverso il così detto *microbial loop*. Le prime ricerche nel Lago Maggiore che, affiancandosi allo studio a lungo termine del batterioplancton, hanno cercato di individuarne differenze qualitative eventualmente correlabili al riscaldamento delle acque lacustri, hanno avuto inizio nel quinquennio in esame. Da esse sono emerse significative differenze dimensionali tra batterioplancton epi ed ipolimnico. Con l'uso di tecniche genetiche si è pure messa in luce l'esistenza di una distribuzione verticale, lungo la colonna d'acqua, inversa di Batteri ed Archaea, iniziando così una caratterizzazione tassonomica funzionale alle diverse condizioni ambientali dei microrganismi costituenti il batterioplancton lacustre.

In conclusione, la risposta delle componenti biotiche ed abiotiche dell'ecosistema Lago Maggiore ai cambiamenti climatici che lo stanno influenzando emerge con sempre maggior chiarezza, anche se il nesso causa effetto ha una evidenza variabile a seconda della componente considerata. Ad esempio, se la connessione tra innalzamento della temperatura epilimnetica e riscaldamento globale appare ben documentato, non altrettanto evidente è la relazione tra quest'ultimo e le modificazioni delle successioni algali o l'incremento numerico dei popolamenti batterici. Tuttavia proprio il fatto che si incontrino possibili relazioni non facilmente documentabili o predicibili impone di intensificare lo studio delle interazioni clima-ecosistema lago perchè la loro comprensione può risultare determinante per la corretta gestione della risorsa lago.