

## 7. CONCLUSIONI

Il 2009 è stato un anno caratterizzato da una piovosità prossima ai valori medi di riferimento. Si sono registrati, mediamente all'interno del bacino del Lago Maggiore 1691 mm, valore vicino a quelli calcolati per i periodi di riferimento 1978-2007 e 1921-1977, e pari, rispettivamente, a 1644 mm e 1709 mm. La stazione ove si sono verificate le maggiori precipitazioni annuali è stata Robiei con 2617 mm, ma diverse sono state le stazioni caratterizzate da piogge superiori ai 2000 mm, distribuite su quasi tutto il bacino del Lago Maggiore, ad eccezione delle valli dell'Ossola e della zona a sud del lago. Mediamente la valle del Ticino Immissario e quelle dell'Ossola hanno fatto registrare, rispettivamente, 1491 mm e 1400 mm. Si sono avute precipitazioni di molto superiori alla media in Febbraio ed Aprile e leggermente superiori alla media in Marzo, Giugno, Luglio, e Dicembre. I mesi meno piovosi sono stati Maggio ed Ottobre rispettivamente con 69 mm e 73 mm, contro i 200 mm e 190 mm dei periodi di riferimento.

Nel 2009 i deflussi dei principali immissari (Ticino, Cannobino, San Bernardino, Toce e Tresa) e dell'emissario del Lago Maggiore hanno fatto registrare valori di portata superiori rispetto a quelli dei periodi di riferimento. In particolare le portate medie annuali del Ticino Immissario, del San Bernardino, del Toce, del Niguglia, del Tresa e del Ticino Emissario sono state superiori al periodo di riferimento di circa il 10 %. La Vevera, il Bardello, il Boesio e la Margorabbia invece, hanno mediamente avuto portate annuali inferiori alla media di riferimento. Da segnalare la rottura dello strumento posizionato sul Cannobino. I valori massimi si sono registrati tra Aprile e Maggio per tutti i corsi d'acqua. I valori minimi hanno avuto una distribuzione molto variabile nell'anno, collocandosi però in prevalenza nella seconda metà del 2009, tra Ottobre e Novembre per quasi tutti i corsi d'acqua ad eccezione del Bardello, del Boesio e della Margorabbia, con minimo rispettivamente a Settembre, Giugno ed Agosto. Nel complesso l'andamento annuale dei deflussi è stato caratterizzato da un picco elevato, unico, tra Aprile e Maggio e da un andamento in diminuzione nei restanti mesi dell'anno, con un innalzamento relativo nel mese di Dicembre.

È pure proseguita la ricerca volta a stabilire il tempo reale medio di residenza dell'acqua entro il complesso bacino del Lago Maggiore, obiettivo di fondamentale importanza per la limnologia teorica ed applicata perché soltanto attraverso una sua realistica determinazione sarà possibile stimare le velocità dei processi di concentrazione, diluizione e di permanenza di sostanze entro il lago. I risultati ottenuti nel valutare il tempo reale di rinnovo delle acque del Lago Maggiore utilizzando un modello numerico-matematico per studiare i movimenti di 72 markers langrangiani con tecniche di CFD (Computational Fluid Dynamics) possono essere così sintetizzati:

- a) molta dell'acqua che arriva dai fiumi tributari e/o da profondità da 0 a circa 50-70 m sotto la superficie libera ha valori probabili di tempo di residenza tra 250 giorni e 2 anni, o superiore;
- b) l'acqua che scorre sotto 150-180 m mostra alcuni movimenti orizzontali ma ha poche probabilità di innalzarsi verticalmente e può considerarsi "ferma";
- c) nessuna ipotesi generale può essere fatta circa il destino dell'acqua che fluisce nella zona intermedia in quanto risente della profondità raggiunta di anno in anno dal mescolamento verticale invernale per moti convettivi ed il suo tempo di ricambio è pertanto soggetto all'essere, o meno, coinvolto dal sistema circolatorio.

Per quanto riguarda in particolare l'anno in studio le condizioni meteorologiche dell'inverno 2008-2009 instauratesi sull'areale del Lago Maggiore non sono state così

spinte da provocare una piena circolazione delle acque del lago. Essa ha raggiunto la profondità di 100 m, confermata anche dai valori di stabilità presente nella massa lacustre. Si è comunque verificata una ossigenazione della parte più profonda della colonna in seguito all'inserimento di acqua dovuta allo scioglimento delle nevi nel mese di Gennaio. Le concentrazioni di ossigeno disciolto nello strato d'acqua al di sotto dei 200 m di profondità, che rimane generalmente segregato dalla massa d'acqua sovrastante, sono risultate simili a quelle del 2008, e comunque inferiori a quelle rilevate tra il 2004 ed il 2007. La causa di questo è da ricercare nella limitata profondità di mescolamento anche degli anni più recenti che non ha favorito l'ossigenazione delle acque profonde.

Nel 2009 le concentrazioni medie annue di fosforo reattivo e totale sull'intera colonna d'acqua sono state pari a 7 e 10  $\mu\text{g P l}^{-1}$  rispettivamente; i massimi di fosforo totale dei mesi estivi non hanno superato i 10-11  $\mu\text{g P l}^{-1}$ . I dati degli anni più recenti (2006-2009) indicano un ulteriore miglioramento qualitativo delle acque, dopo il raggiungimento di una condizione di oligotrofia già a partire dagli anni '90. Gli andamenti stagionali delle altre variabili chimiche non si sono discostati in modo significativo da quelli degli anni precedenti. Il confronto tra la stazione di centro lago e quella di Lesa, nella parte meridionale, così come i dati della distribuzione orizzontale, non evidenziano differenze spaziali marcate in termini di chimismo delle acque. Solo fosforo totale e silice presentano alcuni gradienti, imputabili per lo più all'effetto dell'immissione a lago da alcuni tributari. I carichi di nutrienti veicolati a lago dagli immissari nel 2009 hanno confermato la differenza esistente in termini qualitativi tra le acque tributarie degli areali ticinese, piemontese e lombardo; queste ultime infatti si caratterizzano per i contributi areali più elevati sia di fosforo che di azoto, e gli apporti elevati da alcuni tributari determinano uno scadimento qualitativo delle acque litorali interessate.

I dati relativi al popolamento zooplanctonico nel corso del 2009 hanno confermato il trend pluriennale osservato nel periodo precedente (2003-2008), con valori medi annuali pressoché costanti per le due componenti più abbondanti, quelle dei Copepodi e dei Rotiferi. La densità media annuale dei Cladoceri nell'anno 2009 è risultata lievemente inferiore a quella dei sei anni precedenti, ma è perfettamente in linea con i singoli valori registrati nel periodo 2004-2008. È importante sottolineare come, alla pari di quanto osservato nel 2008, i Diaptomidi del Lago Maggiore appartengano ormai solamente al genere *Eudiaptomus*, a seguito del fatto che *Mixodiaptomus laciniatus*, non risulta più rinvenuto in lago. I risultati scaturiti dal fingerprint isotopico di C e N hanno permesso di caratterizzare le modificazioni stagionali nella rete trofica pelagica e di dare una prima descrizione quantitativa di quella litorale, identificando alcune possibili interazioni tra le due. Questi risultati, con gli altri emersi durante i primi due anni d'indagine, dimostrano come l'approccio di tipo funzionale, alla base delle analisi di isotopi stabili di carbonio e azoto, sia di fondamentale importanza per la definizione di quella "operational diversità" sulla quale si fonda una gestione sostenibile dell'ambiente, finalizzata al mantenimento e, ove necessario alla riabilitazione, delle strutture ecologiche. Infine, i dati ottenuti dimostrano la necessità di investigare i fingerprint isotopici del bentos litorale in diversi momenti dell'anno e su substrati sia inorganici sia fitofili, così da poter meglio caratterizzare il segnale misurato nelle tre specie di pesci, indicativo di un ruolo inatteso di fonti non planctoniche di alimento.

Per quanto riguarda il popolamento fitoplanctonico, le medie mensili del 2009 della concentrazione della clorofilla *a*, descrittore sintetico dell'evoluzione stagionale del

fitoplancton, con quelle del periodo 2003-2008, emerge un'evoluzione stagionale opposta del parametro, con concentrazioni decisamente più basse nel periodo primaverile e più alte nei mesi autunnali. Nel 2009 lo sviluppo primaverile, è risultato inferiore alla media a causa di temperature atmosferiche più basse, con la conseguente inibizione della crescita algale. Viceversa, un autunno piuttosto caldo ha favorito il prolungamento della stagione di crescita fitoplanctonica. Quindi, sebbene la media annua del 2009, pari a  $2,89 \text{ mg m}^{-3}$ , si possa considerare in linea con quelle degli ultimi anni, l'andamento stagionale è risultato molto differente, confermando come le fluttuazioni interannuali osservate per questo parametro debbano essere spiegate soprattutto sulla base delle differenze meteo-climatiche tra un anno e l'altro. Se, da un lato, le dinamiche pluriennali del fitoplancton appaiono fortemente controllate dai fattori meteo-climatici, d'altro canto, dinamiche a scala spazio-temporale inferiore risentono ancora della disomogeneità dei parametri chimici e fisici lungo l'asse principale del lago. Questo è messo bene in evidenza dai dati relativi alla distribuzione spaziale del fitoplancton, analizzata anche nel 2009 con una sonda fluorimetrica. I dati confermano la disomogeneità tra la parte settentrionale e quella meridionale del bacino. Nelle stazioni settentrionali si raggiungono concentrazioni di clorofilla mediamente più elevate che nella parte centro-meridionale: tra le possibili spiegazioni vi è un apporto maggiore di silice disciolta, nutriente importante per le diatomee, da Ticino e Maggia. Inoltre, la misura della distribuzione orizzontale ha evidenziato che l'apporto di nutrienti da alcuni tributari potrebbe essere importante nel condizionare la crescita del fitoplancton: questo effetto sembra particolarmente accentuato in corrispondenza dell'ingresso dei tributari di peggiore qualità, come il Bardello, proveniente dal Lago di Varese. Non si può quindi escludere che si osservino situazioni di locale alterazione della qualità delle acque, pur alla presenza di una generale condizione di oligotrofia del Lago Maggiore. Anche nel periodo estivo del 2009 c'è stata una limitata presenza di *Anabaena lemmermannii*, responsabile, in passato, di estese fioriture. Lo sviluppo massivo del cianobattere non ha potuto verificarsi probabilmente per l'instaurarsi, nel periodo critico, di condizioni meteo climatiche incompatibili con l'optimum di crescita dell'organismo.

Nel 2009 nessuna variabile del comparto della sostanza organica ha mostrato una variazione di concentrazione tale da far pensare ad importanti modificazioni in atto. Tuttavia le concentrazioni di seston e POC sono risultate, soprattutto nella zona eufotica, inferiori rispetto al 2008. Date le concentrazioni relativamente modeste di TOC e POC reperite anche nei periodi più produttivi (mesi primaverili ed estivi), si tratta di un risultato confortante che consolida la valutazione di oligotrofia del Lago Maggiore. In effetti, la concentrazione di sostanza organica disciolta e particellata costituisce un valido proxy dello stato trofico di un lago perché un eventuale incremento della produttività lacustre non può che esitare in un incremento di sostanza organica. La variabilità nella distribuzione spaziale di seston TOC, POC e PON è stata studiata nel Luglio 2009. È emersa una differenza di concentrazione del seston tra la porzione settentrionale e meridionale del lago ben più ridotta rispetto all'anno precedente quando la concentrazione media delle stazioni settentrionali risultò circa doppia rispetto a quella delle stazioni meridionali. Anche la distribuzione del TOC evidenzia una modesta diversità spaziale di concentrazione tra nord e sud del lago ben inferiore rispetto all'anno precedente. Pure la distribuzione spaziale del POC e della frazione proteica del particellato (PON) è risultata nel 2009 più omogenea rispetto al 2008, in accordo con quanto emerso dall'esame del seston. Infine, diversamente da quanto verificatosi nello

scorso anno, non è emersa una significativa differenza di concentrazione di POC e PON nelle stazioni pelagiche rispetto a quelle litorali.

I popolamenti batterici eterotrofi hanno presentato, nel corso del 2009, un'evoluzione stagionale simile a quella del biennio precedente anche se la densità media annua è risultata di poco inferiore. Il gradiente di abbondanza batterica tra epi- ed ipolimnio permane durante tutto il periodo di studio con il raggiungimento, durante il periodo estivo, di densità batteriche epilimniche di oltre 4 volte più alte che nell'ipolimnio.

Per quanto riguarda i volumi medi cellulari batterici, questi hanno mantenuto nel 2009 valori prossimi a quelli dell'anno precedente, confermando che la maggior dimensione media delle cellule del popolamento batterico ipolimnico continua ad essere una caratteristica stabile del picoplancton eterotrofo del Lago Maggiore. La differenza dimensionale evidenziata fornisce, quale che ne sia la causa, l'indicazione di un persistente elemento di biodiversità tra i popolamenti batterici superficiali e profondi del Lago Maggiore che si sta ulteriormente indagando per le sue possibili implicanze ecologiche e per gli effetti che su di esso possono avere le modificazioni climatiche in atto. Per quanto riguarda la distribuzione orizzontale del batterioplancton, la sua abbondanza cresce secondo un gradiente nord-sud come già è emerso nell'anno precedente. Pure degno di nota è il fatto che la distribuzione spaziale del batterioplancton rispecchia quella del PON, mostrando anch'essa l'esistenza di una differenza statisticamente significativa tra stazioni pelagiche e litorali ( $t$  test  $p < 0,001$ ). Questa concordanza supporta l'ipotesi che il particellato reperibile nelle stazioni pelagiche sia più colonizzato dai popolamenti batterici. Anche il carbonio delle cellule batteriche mostra una distribuzione orizzontale simile a quella dell'abbondanza dei popolamenti batterici ed è una parte importante di tutta la sostanza organica particellata presente nelle acque epilimniche del Lago Maggiore, costituendo fino al 20 % circa del POC.

C'è infine da ricordare che nel 2009 si è concluso lo studio multidisciplinare ed integrato su un sottobacino Lago Maggiore, il bacino del Fiume Tresa. Lo studio era finalizzato alla conoscenza dello stato di compromissione del bacino ed alla comprensione del suo possibile impatto sull'equilibrio dell'ecosistema lacustre, in rapporto ai cambiamenti climatici in atto ed alle trasformazioni subite dal territorio negli ultimi decenni. La ricerca ha confermato che, sia da un punto di vista idromorfologico che biologico, il fiume non può essere classificato in qualità buona. Chiaramente una moderata qualità idromorfologica, chimica e biologica di uno o più corsi d'acqua tributari del L. Maggiore ha delle ripercussioni sull'ecosistema lago.

In conclusione, i dati meteorologici mostrano come il 2009 sia stato un anno climaticamente "nella media". Anche i dati relativi agli apporti chimici dal bacino imbrifero si sono mantenuti prossimi ai valori degli ultimi anni. I popolamenti planctonici autotrofi ed eterotrofi che il Lago Maggiore ospita hanno mantenuto, pur con qualche variazione probabilmente legata alle peculiarità climatiche del 2009, la struttura qualitativa e quantitativa che si è andata costituendo negli ultimi anni. In sintesi, il Lago Maggiore si è mantenuto nella condizione prossima all'oligotrofia che ne ha caratterizzato l'evoluzione recente. Questa situazione è l'ovvia conseguenza dell'accoppiamento tra situazione meteorologica, pressione antropica e stato dell'ecosistema lago. È evidente che se uno stressor climatico (ad esempio episodi di siccità) o antropogenico (ad esempio introduzione di una sostanza o di un organismo capace di alterare la rete trofica) dovesse perturbare l'accoppiamento, si andrebbe

incontro, com'è successo in passato, ad una variazione dell'attuale tendenza evolutiva del lago. Per la diagnosi precoce degli effetti di un tale stressor, spesso non conclamati almeno nelle fasi iniziali, e per il loro controllo è indispensabile poter disporre della serie storica dettagliata ed esauriente di dati limnologici che il monitoraggio di base minimo non può offrire ma che l'attività di ricerca limnologica sostenuta dalla CIP AIS senz'altro garantisce.