

4. CONCLUSIONI

Il totale annuo delle precipitazioni è stato, nel 2005, di 991 mm, valore molto al di sotto della media pluriennale (1693 mm per il periodo 1978-2004) che rappresenta solo il 58% della pioggia che mediamente cade in un anno sul bacino imbrifero del Lago Maggiore e costituisce il nuovo anno più siccitoso degli ultimi 50 anni; quello precedente è stato il 2003.

In particolare, va sottolineato che fino a Settembre le piogge registrate nel 2005 non si sono discostate di molto dalla media pluriennale e sono state superiori a quelle cadute, nello stesso periodo, nel 2003. La particolarità climatica del 2005 si è registrata infatti, negli ultimi mesi dell'anno, da Ottobre a Dicembre, quando sono caduti solo 130 mm, contro i 430 mm che mediamente cadono, nel bacino, in quel periodo. Le piogge del periodo autunnale sono quelle più importanti per l'equilibrio idrologico del lago, in quanto sono poco ostacolate dalla vegetazione, raggiungono più velocemente il suolo e vanno ad incrementare le acque superficiali in modo più incisivo.

La scarsità di pioggia dei mesi di Ottobre e Novembre, in particolare, ha portato un notevole abbassamento del livello del lago che ha dovuto affrontare il periodo "siccitoso" invernale in carenza idrica.

I mesi meno piovosi sono stati Gennaio, Febbraio e Novembre con solo, rispettivamente, il 16%, 12% e 10% della pioggia mediamente registrata nello stesso periodo.

Dall'analisi della distribuzione spaziale delle piogge, si individuano quattro zone particolari: una, quella dell'alto Toce, caratterizzata dalle piogge meno abbondanti, le altre tre, invece, caratterizzate da nuclei a maggior piovosità. L'alta Valle Maggia, la zona del Lago di Mergozzo e del bacino Toce-Strona e il bacino del Tresa, anche se in misura minore rispetto alle zone precedenti.

Per quanto riguarda i deflussi, i valori di portata mensili e annuali si sono mantenuti al di sotto della media pluriennale per tutti i corsi d'acqua, tranne che per il Cannobino che ha fatto registrare un valore di portata medio annuale più elevato rispetto a quello medio pluriennale e valori maggiori in quasi tutti i mesi.

Tali valori mediamente più elevati sono dovuti principalmente alle maggiori precipitazioni che si sono registrate in Valle Cannobina, rispetto alle altre valli, e al fatto che il Cannobino risulta essere ancora un corso d'acqua naturale, senza prelievi o captazioni che possono diminuire i suoi deflussi naturali, come avviene per altri immissari del Lago Maggiore.

I corsi d'acqua che maggiormente hanno risentito delle scarse precipitazioni del 2005 sono stati la Vevera, la Margorabbia, il San Giovanni, la Tresa e il San Bernardino con una portata media annuale pari, rispettivamente al 22%, 25%, 29%, 31% e 39% di quella media pluriennale.

Va sottolineato che, ad eccezione della Vevera, gli altri corsi d'acqua sono anche soggetti a prelievi e captazioni di diverso genere, che in occasione di poche piogge causano un maggiore impatto per quanto riguarda la reale quantità d'acqua a disposizione dell'ecosistema fluviale, soprattutto se il bacino da essi drenato non è particolarmente esteso. Infatti il Toce, pur avendo fatto registrare una portata media annuale pari al 56% rispetto a quella media pluriennale, non è mai sceso al di sotto di tale valore se non per i mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre quando, proprio per le scarsissime piogge si sono avuti valori di portata rispettivamente del 36%, 31% e 47% rispetto ai valori medi mensili pluriennali.

Per quanto riguarda il Torrente Niguglia, non ci sono portate per tutto il 2005, in quanto non è stato possibile ripristinare il funzionamento della stazione, precedentemente danneggiata, fino alla primavera del 2006, quando è stata installata una nuova stazione.

Non sono disponibili, per il 2005, le portate del Torrente Boesio, a causa di alcuni lavori effettuati nell'alveo del corso d'acqua che hanno reso inutilizzabile l'idrometro a ultrasuoni, per un lungo periodo e, in seguito, a causa del furto della cella fotovoltaica che alimenta la stazione.

Come per gli anni precedenti, anche nel 2005 le indagini sull'idrochimica del Lago Maggiore, dei suoi principali tributari e del Ticino emissario, sono state effettuate con frequenza mensile. I prelievi delle acque lacustri sono stati eseguiti nella stazione di massima profondità, a Ghiffa. In aggiunta a questi campionamenti, nei mesi di Marzo e Settembre, sono stati effettuati dei prelievi nella stazione di Lesa, ubicata nella parte meridionale del lago.

Le caratteristiche chimiche delle acque nelle due stazioni sono risultate molto simili, ed hanno presentato variazioni minime rispetto agli anni precedenti. I valori medi annui di pH (7,38), conducibilità ($147 \mu\text{S cm}^{-1}$) e contenuto ionico ($3,14 \text{ meq l}^{-1}$) rilevati nella stazione di Ghiffa nel 2005 sono risultati confrontabili con quelli dell'ultimo quinquennio. I massimi di pH (8,32) ed ossigeno (110 %), registrati in epilimnio ad Agosto, sono stati solo leggermente inferiori a quelli del 2004. I valori di pH nell'autunno 2005 (7,6-7,7 a Ottobre-Novembre) sono risultati invece più elevati rispetto al 2004, e più in generale a quelli dell'ultimo decennio.

Il 2005 è stato caratterizzato da un marcato raffreddamento delle acque lacustri e da un rimescolamento quasi totale dell'intera colonna d'acqua nella seconda metà di Marzo. Nonostante ciò, l'andamento delle variabili chimiche nel 2005 non è stato analogo a quello del 1999, caratterizzato da un mescolamento completo. Questo perché la omogeneizzazione della massa d'acqua nel 2005 ha interessato in modo completo solo i primi 250 m di profondità.

L'andamento stagionale di alcune variabili chimiche, quali conducibilità e alcalinità, è risultato, nel 2005, del tutto simile a quello osservato nel 2003. Entrambi gli anni sono stati infatti caratterizzati da prolungati periodi di siccità e da volumi di precipitazione ridotti. Nel 2005 i valori di alcalinità e conducibilità si sono mantenuti stabilmente attorno a $0,81-0,82 \text{ meq l}^{-1}$ e $145 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C rispettivamente e, come già accaduto nel 2003, non è stata osservata la diminuzione estiva dei valori epilimnici di queste due variabili.

I contenuti medi di azoto nitrico e totale ($0,84-0,86 \text{ mg N l}^{-1}$ e $0,89-1,02 \text{ mg N l}^{-1}$, rispettivamente), così come di fosforo reattivo e totale (7 e $10 \mu\text{g P l}^{-1}$) nel 2005 sono risultati confrontabili con quelli dell'ultimo decennio. Nella stazione di Lesa, i corrispondenti valori, sia per i composti dell'azoto che del fosforo, misurati in Marzo e Settembre sono risultati del tutto simili a quelli della stazione di massima profondità.

Su scala decennale si può osservare una lieve tendenza all'aumento delle concentrazioni di nitrati, da $0,81-0,82$ a metà degli anni '90 a $0,85-0,86 \text{ mg N l}^{-1}$, mentre l'azoto totale è rimasto pressoché costante.

I contenuti medi di fosforo totale nelle acque lacustri nel corso degli ultimi 10 anni si sono mantenuti compresi tra 8 e $12 \mu\text{g P l}^{-1}$, livelli che confermano l'attuale condizione di oligotrofia. Questi livelli sono ragionevolmente attribuibili all'intera zona pelagica del lago, ma non necessariamente alla zona litorale. Alcune zone rivierasche risultano infatti

influenzate dalla presenza di scarichi o dall'immissione a lago di acque tributarie ad elevato contenuto di nutrienti, tali da pregiudicare il livello qualitativo e la fruizione delle acque.

I valori medi annui di pH, alcalinità totale e conducibilità nelle acque dei 14 tributari considerati, sono risultati nel 2005 del tutto simili a quelli degli anni precedenti, in quanto dipendenti dalle caratteristiche litologiche dei bacini imbriferi. Le modeste differenze osservabili da un anno all'altro sono dovute quasi esclusivamente alla variabilità idrologica interannuale. Quest'ultima ha avuto un ruolo importante nell'ultimo periodo, in quanto si sono susseguiti anni caratterizzati da precipitazioni elevate (2000 e 2002) ed anni caldi e siccitosi come il 2003 ed il 2005.

Per quanto riguarda le concentrazioni dei principali nutrienti, i valori più elevati hanno interessato le acque di Bardello e Boesio, che continuano a presentare una situazione di pesante degrado ecologico (rispettivamente 468 e 396 $\mu\text{g P l}^{-1}$ come fosforo totale, 2,87 e 4,17 mg N l^{-1} come azoto totale). Nel caso del Bardello in particolare, i tenori medi di azoto si sono mantenuti simili a quelli dell'anno precedente, ma le concentrazioni di fosforo sono nettamente aumentate, collocandosi su livelli simili a quelli del 2003. Essendo ormai cessato il prelievo ipolimnico nel Lago di Varese, questa situazione, oltre che alle condizioni idrologiche, è da attribuire ad aumento di apporti di reflui civili e/o industriali scarsamente depurati.

Le condizioni delle altre acque tributarie variano da uno stato buono o comunque accettabile (Verzasca, Cannobino, Ticino immissario, Maggia, San Giovanni, Strona e Toce) a situazioni più compromesse, dovute alla presenza nei bacini drenanti di scarichi non sufficientemente depurati (Giona, Vevera, Tresa ed Erno). Nell'anno 2005 inoltre, in occasione di due campionamenti, si sono riscontrate alla foce del S. Bernardino concentrazioni molto elevate di fosforo totale (771 e 93 $\mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente il 3 Ottobre ed il 7 Novembre). I successivi controlli effettuati non hanno riscontrato anomalie degli scarichi civili e degli sfioratori esistenti. I due eventi sono quindi probabilmente attribuibili ad immissioni di sostanze fosforate in tombature che recapitano le acque bianche urbane in prossimità del tratto terminale del corso d'acqua.

Per quanto riguarda i carichi veicolati a lago, a seguito dei limitati afflussi meteorici sul bacino imbrifero che hanno caratterizzato il 2005, tutte le variabili oggetto di studio hanno mostrato una diminuzione degli apporti. Lo stesso andamento ha riguardato i carichi dei composti di azoto e fosforo per unità di superficie drenata dalle acque tributarie. L'unica eccezione è rappresentata dal Bardello, i cui apporti di fosforo totale sono cresciuti da 27 a 34 t P a^{-1} , a causa del forte aumento delle concentrazioni medie annue.

Su scala regionale si riconferma il quadro già emerso dai dati dell'ultimo decennio: a fronte di una situazione ottimale delle acque ticinesi e moderatamente accettabile di quelle piemontesi, i contributi medi areali dalle acque tributarie lombarde, soprattutto per fosforo totale e azoto ammoniacale, continuano anche nel 2005 a mantenersi su livelli preoccupanti. In generale va comunque segnalato come i carichi areali di fosforo veicolati complessivamente dalle acque tributarie negli ultimi tre anni (rispettivamente 0,025 – 0,022 – 0,018 $\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$) sono compatibili con il mantenimento di uno stato oligotrofo delle acque lacustri.

Per quanto riguarda l'evoluzione del popolamento fitoplanctonico, se, da un lato, i dati del 2005 hanno confermato la sostanziale stabilità delle caratteristiche generali della biocenosi algale (elevata biodiversità, bassi valori di biovolume e clorofilla), dall'altro la

successione stagionale ha visto alcuni importanti rimaneggiamenti della composizione in specie, di cui il più eclatante è, senza dubbio, la fioritura del cianobattere *Anabaena lemmermannii*. Tra le cause di questa variabilità dei popolamenti autotrofi vi sono, ancora una volta, situazioni meteorologiche estreme, che, perdurando l'attuale tendenza climatica, potrebbero avere un ruolo decisivo nel promuovere lo sviluppo di alcune specie o la scomparsa di altre ed essere un fattore importante anche nell'insorgenza di nuove fioriture.

È il caso di sottolineare che l'impatto delle fioriture cianobatteriche sulla fruibilità delle acque lacustri può essere assai rilevante, impedendone l'uso alimentare ed anche ricreazionale perché molti ceppi di cianobatteri possono produrre tossine dannose per uomini ed animali. Per questo motivo il CNR-ISE ha compiuto in occasione della fioritura di *Anabaena lemmermannii* uno sforzo di ricerca particolare, coinvolgendo risorse umane e finanziarie aggiuntive rispetto a quelle rese disponibili dalla CIP AIS a fronte del contratto in essere per l'esecuzione delle ricerche limnologiche, che ha permesso di valutarne meglio la potenziale tossicità e la distribuzione spaziale.

Esistono evidenze ormai numerose che le fioriture di cianobatteri potenzialmente tossici non sono limitate agli ambienti eutrofici. Anche in laghi oligotrofici e mesotrofici sono state documentati numerosi casi di fioriture, spesso imputabili al genere *Anabaena*, che si ritiene siano indotte dalle modificazioni climatiche in atto, anche se la scarsità di dati disponibili e la complessità dei sistemi ecologici non consentono per ora di identificare relazioni semplici tra clima e fioriture. È certo che temperature elevate, bassa turbolenza, luminosità elevata ma non eccessiva, possano essere condizioni ideali per lo sviluppo della fioritura.

È possibile anche ipotizzare che l'ampia fascia litorale, esposta per il basso livello estivo del lago, abbia potuto liberare nutrienti, ed in particolare fosforo, per decadimento degli organismi epilitici viventi in quella che era la zona di bagnasciuga prima dell'abbassamento di livello. La capacità di *Anabaena* sp. di sfruttare il fosforo organico, evidenziata dalla sua ingente produzione di fosfatasi alcalina, potrebbe averne favorito lo sviluppo massivo che è culminato in una fioritura che ha interessato l'intera superficie lacustre, come ha dimostrato l'analisi delle foto satellitari effettuata del CNR-IREA di Milano.

Il ripperimento, con metodo analitico (HPLC), di microcistina in quantità misurabili dimostra le potenzialità tossiche del ceppo che ha generato la fioritura nel Lago Maggiore, anche se, fortunatamente, la concentrazione in lago della tossina non ha raggiunto valori tali da determinare una situazione di pericolo. Tuttavia per completare il quadro delle potenzialità tossiche del cianobattere sarebbe necessario condurre analisi genetiche ad hoc.

Il verificarsi della fioritura di *Anabaena lemmermannii* ha dimostrato la vulnerabilità biologica dell'ecosistema Lago Maggiore. A salvaguardia dell'utilizzabilità delle acque di questo lago, risulta quindi importante ampliare il quadro conoscitivo dell'ecologia delle fioriture algali in un ambiente oligotrofo anche in relazione all'evoluzione climatica in atto.

A riguardo del popolamento zooplanctonico, in generale i dati relativi al 2005 consentono di confermare la netta tendenza ad un ritorno alle condizioni precedenti l'oligotrofizzazione già messa in luce negli ultimi anni. Le densità di popolazione sono risultate del tutto raffrontabili a quelle rilevate nella prima metà degli anni ottanta,

quando venivano di frequente registrate fioriture algali. Tuttavia, la biomassa del popolamento zooplanctonico risulta di gran lunga superiore, a causa della molto maggiore presenza dei predatori invertebrati. La struttura del popolamento e delle singole popolazioni appare inoltre caratterizzata da una situazione che ricorda, sia pure in condizioni di una mutata fenologia, quella degli anni di bloom algale. Si può davvero affermare che in generale lo zooplancton del lago tende in questo periodo a mimare condizioni di aumentata trofia.

Nel 2005 le concentrazioni di carbonio organico, totale e particellato, il seston e le densità dei popolamenti batterici (come numero di cellule) sono risultate congrue con il trend evolutivo del quinquennio passato, presentando valori medi annui prossimi a quelli del 2004. In generale, nei mesi estivi ed autunnali la concentrazione di TOC si è mantenuta su valori inferiori al mg l^{-1} , con un picco estivo a fine Luglio – inizio Agosto di $1,6 \text{ mg l}^{-1}$ nella zona eufotica, probabilmente in relazione al decadimento della fioritura di *Anabaena lemmermannii* che ha interessato tutto il Lago Maggiore nel corso del mese di Luglio.

Il popolamento batterico eterotrofo, ha presentato la consueta eterogeneità temporale sia come numero che come biomassa. Più in dettaglio, i batteri sono risultati, come al solito, numericamente più abbondanti nella zona eufotica che in quella afotica. Tuttavia si è confermato che i popolamenti che vivono in profondità sono costituiti da cellule significativamente più grandi e arrivano a costituire circa il 60% del carbonio organico particellato totale della zona profonda, mentre nella zona eufotica soltanto il 30% del carbonio è ascrivibile alla biomassa batterica. Questo risultato non è privo di significato perché, costituendo un primo criterio generale di valutazione della diversità batterica, sarà utile ad individuare possibili future variazioni di biodiversità a livello microbico. La possibilità che questa differenza nei morfotipi dipenda dalla diversa disponibilità di substrato nelle due zone potrebbe costituire un elemento di distinzione tra popolamenti batterici caratteristici di situazioni troficamente differenziate. In altre parole, questa diversità, affiancata da evidenze ottenibili con tecniche di ecologia molecolare, potrebbe assumere in futuro un significato diagnostico di rilievo nella valutazione della biodiversità dei popolamenti batterici del Lago Maggiore e dell'influenza su di essi dell'evoluzione climatica in atto

In conclusione, dopo un anno collocabile in una situazione di normalità climatica come il 2004, il 2005 è stato un anno particolarmente caldo in estate, con una radiazione solare nei mesi estivi superiore del 12% rispetto al periodo di confronto 1951-2004. Inoltre, il ridotto afflusso meteorico del 2005 (1.265 mm a Pallanza) ha lasciato un'impronta molto netta sul regime idrometrico del Maggiore. Infatti il livello dell'ultimo anno è la quota media più bassa raggiunta dal lago dopo quella di 193,41 m s.l.m. del 1965. I dati medi stagionali hanno mostrato una progressiva diminuzione delle quote idrometriche dalla fine del periodo invernale e altezze inferiori alla norma si sono avute in estate (-52 cm) e in misura maggiore in autunno (-81 cm), mentre più contenuto è risultato il divario dalla media in primavera (-6 cm). È possibile che questa situazione abbia agito sinergicamente con altre cause non ancora individuate nel determinare la fioritura di cianobatteri che ha compromesso le acque lacustri nel corso dell'estate.

L'impossibilità di elencare con ragionevole certezza lo spettro di variabili, climatiche o di altra natura, capaci di determinare l'insorgenza di fenomeni, come le fioriture di cianobatteri, che influiscono negativamente sulla qualità delle acque lacustri, ci rende percepibile la dimensione della complessità degli ecosistemi e ci dà l'idea dello sforzo di ricerca che deve essere ancora affrontato per vincere la sfida della gestione sostenibile degli ecosistemi lacustri, sforzo che, ovviamente, va ben oltre il mero monitoraggio delle acque lacustri previsto dal legislatore.