



foto Ti-press / Gabriele Putzu

Una diagnosi fisico-chimico-biologica

Alberto Barbieri, Sandra Steingruber

Lago di Lugano (Ceresio)

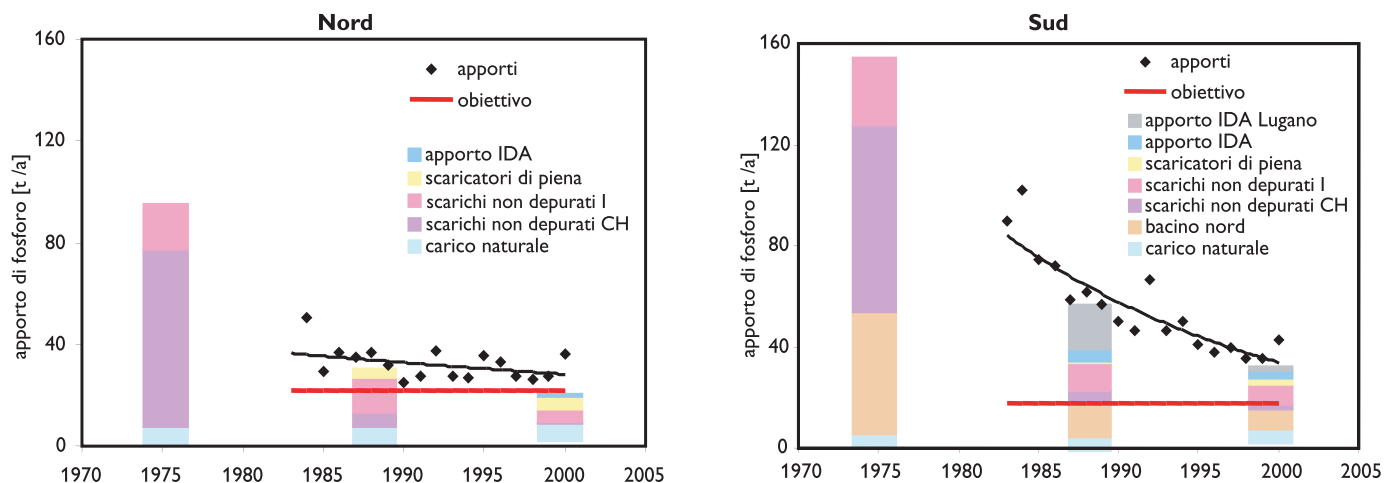
Lo stato fisico-chimico-biologico delle acque del Lago di Lugano viene monitorato regolarmente dalla SPAAS sotto incarico della Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere dal 1978, con una frequenza di 15 campionamenti all'anno [CIP AIS 1980-1999a]. Indagini saltuarie sono però state fatte fin dai primi anni del secolo scorso. I principali parametri rilevati sono la trasparenza, la temperatura, l'ossigeno, il pH, l'alcalinità, la conducibilità elettrica, i composti del fosforo e dell'azoto, la silice reattiva, il metano, i solfuri, il ferro disciolto e il manganese disciolto. Le misure sono effettuate a diverse profondità e in diverse località. Parallelamente si fanno anche delle indagini sul fitoplancton e sullo zooplancton. I controlli relativi alla balneabilità vengono

svolti dal Laboratorio Cantonale di Lugano.

Il Lago di Lugano, analogamente agli altri laghi a sud delle Alpi, era originariamente povero di sostanze nutritive. Lo sviluppo demografico e industriale e l'aumento del turismo negli anni '50 e '60 hanno però causato un aumento delle acque di scarico. Siccome le acque luride venivano scaricate direttamente nei corsi d'acqua e quindi nel lago, ben presto lungo molte rive si dovette introdurre il divieto di balneazione a causa di concentrazioni eccessive di batteri patogeni nell'acqua. Altra conseguenza grave dell'apporto eccessivo di sostanze nutritive, soprattutto azoto e fosforo, fu l'eutrofizzazione del lago. L'eutrofizzazione causa fioriture di alghe microscopiche che si riflette in una riduzione della trasparenza dell'acqua. La decomposizione dell'eccessiva biomassa algale morta richiede inoltre grandi quantitativi di ossigeno, che

viene a mancare negli strati più profondi del lago. In un lago eutrofizzato vengono anche eliminate le specie ittiche più pregiate (es.: Salmonidi) e viene favorito l'aumento di quelle meno apprezzate commercialmente (es.: Ciprinidi). L'eutrofizzazione provocò anche, indirettamente, periodiche epidemie tra le specie sopravvissute e massicce morie. Nella maggior parte dei laghi il principale responsabile del fenomeno di eutrofizzazione è il fosforo. Risultò quindi evidente che per «guarire» il lago di Lugano era necessario ridurre i carichi di fosforo. Si stimò che per risanare il Lago di Lugano era necessario ridurre i carichi di fosforo da ca. 95 tonnellate di fosforo all'anno (t P/a) a 22 t P/a per il bacino nord e da ca. 120 t P/a a 18 t P/a per il bacino sud.

L'ampliamento della rete di canalizzazione e l'allacciamento agli impianti di depurazione a partire dagli anni '70, insieme alla ridu-



zione dei fosfati nei detersivi tessili (dall' '86) hanno migliorato notevolmente la situazione. Per il bacino nord anche la deviazione delle acque di scarico della città di Lugano verso il bacino sud hanno contribuito alla riduzione dei carichi di fosforo. Per il bacino sud invece è stato importante il potenziamento dell'impianto di depurazione di Bioggio. Negli ultimi 30 anni i carichi di fosforo si sono ridotti da oltre 95 a 25 t P/a nel bacino nord e da 155 a 39 t P/a nel bacino sud (compresi gli apporti provenienti dal bacino nord), avvicinandosi quindi di molto agli obiettivi fissati. Il grafico A mostra l'evoluzione dei carichi di fosforo nel bacino nord e sud del Lago di Lugano. Per il 1975, il 1988 e il 1999 è anche stata stimata la provenienza del fosforo. In entrambe le figure si può notare la diminuzione dell'apporto di fosforo proveniente dalle acque di scarico non depurate sia svizzere che italiane, anche se queste ultime con una percentuale minore. Per il bacino sud è anche evidente una diminuzione dell'apporto di fosforo proveniente dall'IDA di Bioggio dal 1988 al 1999 grazie al potenziamento dell'impianto di Bioggio nel 1995.

La depurazione delle acque e la conseguente diminuzione dei carichi di fosforo ha migliorato anche la qualità delle acque del Lago. Infatti dal 1996 nella parte svizzera del lago tutte le rive sono nuovamente balneabili.

li. Inoltre nello strato superficiale del bacino nord (0-100 m), le concentrazioni di fosforo sono diminuite da 130 microgrammi al litro ($\mu\text{g P/l}$) a $60 \mu\text{g P/l}$ e nel bacino sud da $90 \mu\text{g P/l}$ a $50 \mu\text{g P/l}$ avvicinandosi anche qui agli obiettivi fissati di $30 \mu\text{g P/l}$. Il grafico B mostra l'evoluzione delle concentrazioni di fosforo nel Lago di Lugano dal 1983.

Ciò che questo grafico non mostra è che nel bacino nord a profondità maggiori di 100

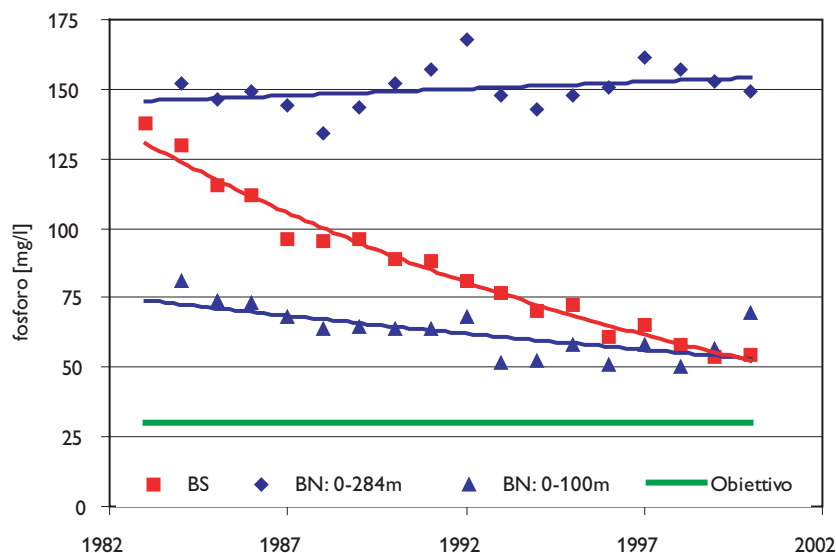
m le concentrazioni di fosforo sono aumentate da 230 a $290 \mu\text{g P/l}$. Questo significa che la concentrazione media di tutto il bacino nord ($150 \mu\text{g P/l}$) è ancora molto lontana dall'obiettivo fissato ($30 \mu\text{g P/l}$). Precarie sono ancora anche le condizioni d'ossigenazione. Infatti in entrambi i bacini, nel corso del secondo semestre dell'anno, a profondità maggiori di $40-50$ m le concentrazioni d'ossigeno scendono al di sotto del limite prescritto dall'O-

foto G. Cotti



«... dal 1996 nella parte svizzera del lago di Lugano tutte le rive sono nuovamente balneabili.»

B Concentrazioni di fosforo¹ nel bacino nord e sud del Lago di Lugano², dal 1982



¹ In milligrammi al metro cubo.

² BN sta per bacino nord, BS per bacino sud.

PAc (4 mg O₂/l). A profondità maggiori di 75 m l'ossigeno è addirittura assente. Il grafico C mostra i profili di ossigeno a Gandria, Melide e Fignio nel mese di ottobre del 2000.

Per quanto riguarda il bacino sud, un ulteriore miglioramento della situazione dovrebbe avvenire con l'ampliamento degli impianti di depurazione di Mendrisio e di Pian Scairollo. Più complessa risulta invece la situazione per il bacino nord. Infatti per quanto riguarda le concentrazioni di fosforo e di ossigeno la situazione rimarrà precaria ancora a lungo. Il problema principale è la presenza di uno strato ricco di fosforo a profondità maggiori di 100m che ha la capacità di fertilizzare le acque superficiali stimolando la crescita delle alghe nonostante l'importante riduzione degli apporti esterni. Infatti durante inverni freddi ci possono essere dei movimenti d'acqua tali da portare le acque ricche di fosforo dallo strato profondo a quello superficiale. Movimenti d'acqua simili possono avvenire anche durante periodi di forti precipitazioni in seguito all'immissione degli affluenti in piena. Si sta valutando al momento la possibilità tecnica e finanziaria di misure interne che permettano di diminuire sostanzialmente il fosforo negli strati profondi del lago. Soluzioni in questo senso potrebbero essere la precipitazione del fosforo tramite l'immissione nelle acque profonde di idrossido di calcio o

di flocculanti chimici in uso negli impianti di depurazione. Un importante problema di questi metodi di risanamento è che non sono mai stati testati su laghi così profondi come il

Lago di Lugano ed è quindi difficile valutare la loro effettiva efficacia.

La situazione nel Lago di Lugano fa riflettere. Essa è infatti un esempio di come le conseguenze negative di un inquinamento avvenuto nel corso di pochi decenni possono durare per un lasso di tempo molto più lungo.

Lago Maggiore (Verbano)

Lo stato chimico-fisico-biologico delle acque del Lago Maggiore viene monitorato regolarmente dall'Istituto Italiano di Idrobiologia del CNR di Pallanza sotto incarico della Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere dal 1978 con una frequenza di 12 campionamenti all'anno [CIP AIS 1980-1999b]. Indagini saltuarie sono però state fatte fin dai primi anni del secolo scorso.

La circolazione dell'acqua nei laghi

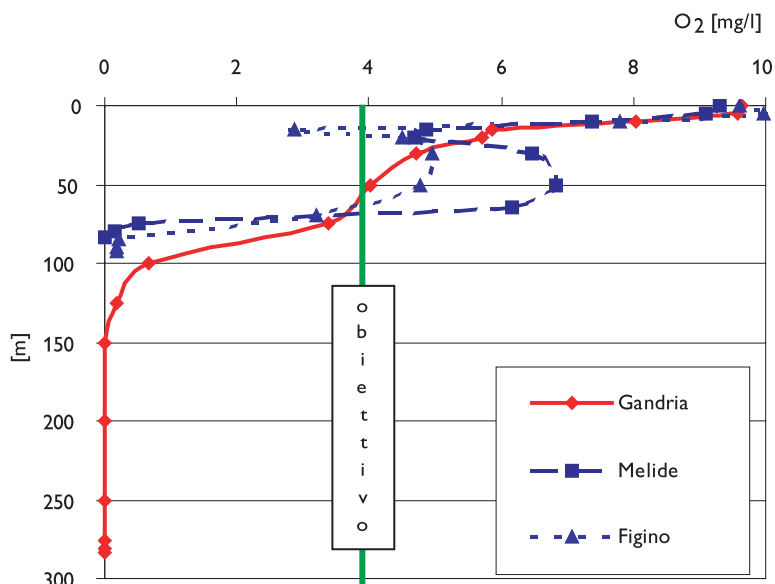
Alla fine dell'estate nei laghi la temperatura è massima in superficie e diminuisce gradualmente negli strati più profondi. In autunno quando la temperatura dell'aria diminuisce, gli strati superficiali dei laghi si raffreddano diventando più pesanti per cui scendono lasciando il posto a strati più caldi. Questo fenomeno si può ripetere finché l'acqua di tutto il bacino raggiunge i 4°C. A questo punto un ulteriore raffreddamento dello strato superficiale non provoca più un aumento della densità dell'acqua, per cui l'acqua rimane in superficie e si raffredda ulteriormente fino eventualmente a gelare. In primavera l'acqua in superficie si riscalda. Fino ai 4°C questo riscaldamento rende di nuovo le acque più dense e comporta quindi nuovamente la circolazione della massa d'acqua. La circolazione della massa d'acqua è un fenomeno importante perché provoca un rimescolamento dell'acqua nei laghi, e dei sali e dell'ossigeno in essa contenuto.

Non però in tutti i laghi questi fenomeni avvengono regolarmente. Nel bacino nord del Lago di Lugano le acque che si trovano ad una profondità maggiore di 100 m non partecipano alla circolazione. In parte perché sono molto profonde (max. 288 m) e non tutti gli inverni garantiscono temperature abbastanza basse durante periodi sufficientemente lunghi per raffreddare l'acqua fino a tali profondità. Il motivo principale però è dovuto al fatto che le acque profonde sono sempre più dense e quindi pesanti delle acque superficiali a causa dell'alta concentrazione di sali minerali in esse disciolti. Questi sali sono stati liberati durante la decomposizione di ingenti quantitativi di materiale organico, prodotto dall'apporto eccessivo di fosforo. È per questo motivo che negli strati profondi del bacino nord del Lago di Lugano l'ossigeno è perennemente assente e le concentrazioni di fosforo sono molto alte.

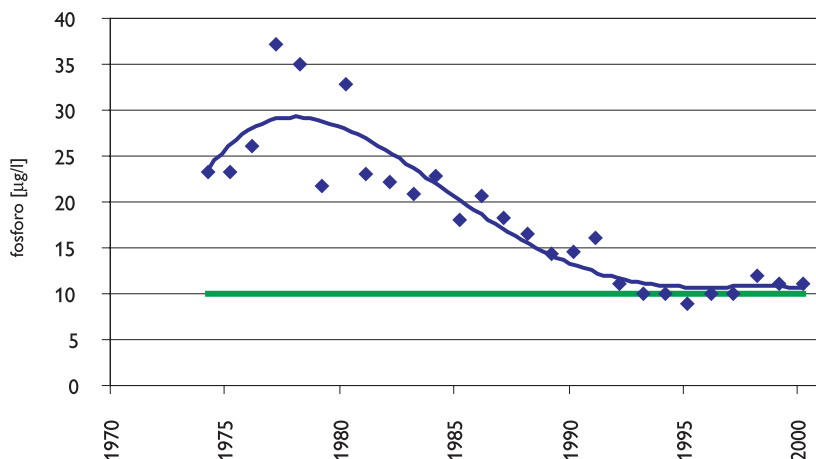
Nel lago Maggiore una circolazione completa delle masse d'acqua avviene soltanto durante inverni particolarmente freddi. Il motivo principale qui è la grande profondità del lago (max. 370 m). L'ultima circolazione completa è avvenuta negli anni '70.

«Diversamente dal lago di Lugano, l'ossigenazione degli strati profondi del lago Maggiore non è mai stata compromessa.»

C Profilo dell'ossigeno disciolto nel Lago di Lugano nell'ottobre 2000



D Evoluzione delle concentrazioni di fosforo¹ nel Lago Maggiore, dal 1975



¹ La linea verde indica l'obiettivo

I principali parametri rilevati sono la trasparenza, la temperatura, l'alcalinità, il pH, la conducibilità elettrica, l'ossigeno, il bicarbonato, i composti del fosforo e dell'azoto, il cloruro, il calcio, il magnesio, il sodio, il potassio, la silice reattiva, il solfato, il carbonio organico totale e particellato. Le misure sono effettuate a diverse profondità e in diverse località. Parallelamente si fanno anche delle indagini sul fitoplancton, sullo zooplancton e su

popolamenti batterici.

Analogamente al Lago di Lugano anche nel lago Maggiore lo sviluppo demografico ed industriale e lo spostamento della popolazione verso agglomerati urbani negli anni '50' e '60' hanno causato un incremento dei carichi di sostanze nutritive (600 t P/a) e quindi anche un aumento delle loro concentrazioni nelle acque lacustri. Tuttavia l'incremento è stato molto più contenuto che non nel Lago

di Lugano. Infatti, come mostra il grafico D le concentrazioni massime, che sono state raggiunte alla fine degli anni '70, si aggiravano attorno ai 35 µg P/l ed erano quindi nettamente inferiori a quelle nel Lago di Lugano che erano di 130 µg P/l nel bacino nord e 90 µg P/l nel bacino sud.

Come per il Lago di Lugano, l'entrata in funzione di depuratori delle acque e la diminuzione del contenuto di fosforo nei detersivi hanno comportato una riduzione degli apporti di fosforo (da 600 a 200 t P/a) raggiungendo così gli obiettivi prefissati (200 t P/a).

La riduzione dei carichi ha comportato anche una riduzione delle concentrazioni di fosforo nel lago (da 35 a 10 µg P/l, v. graf. D) raggiungendo pure gli obiettivi prefissati (10 µg P/l). Questa concentrazione è tipica di un lago povero di sostanze nutritive.

Diversamente dal lago di Lugano, l'ossigenazione degli strati profondi del lago Maggiore non è mai stata compromessa. Infatti i minimi non sono mai scesi sotto i 5,7 mg O₂/l e negli ultimi anni si sono mantenuti sopra i 6 mg/l.

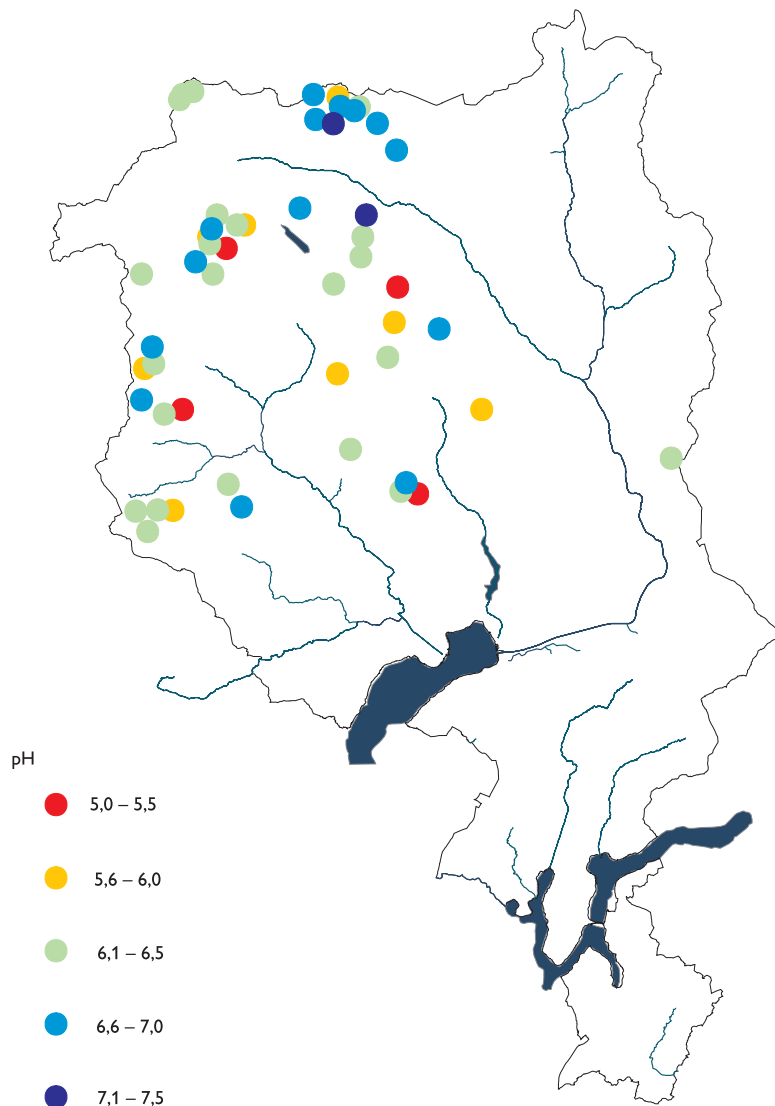
Un problema del Lago Maggiore è però la presenza di DDT, finito nel lago con gli scarichi di una ditta situata in territorio italiano che in passato produceva questa sostanza. Anche se in diminuzione, le concentrazioni sono tuttora tali da dover vietare la pesca di alcune specie di pesci in Italia [CIPAI 1999].

Nel 2001 il Laboratorio Cantonale ha riscontrato un superamento dei limiti di tolleranza (200 mg/kg)¹ per quanto riguarda le concentrazioni di mercurio nei pesci del Lago Maggiore. Queste concentrazioni sono ancora lontane dal limite ammesso (500 mg/kg)², ma destano comunque preoccupazione. Ulteriori accertamenti sono previsti per il 2002.

Nel Lago Maggiore si è pure constatata una riduzione del numero di pesci pescati nell'ultimo decennio. Una causa importante di questo fenomeno è certamente la depurazione delle acque che ha ridotto le concentrazioni di fosforo nel Lago, diminuendo la produzione di alghe, di zooplancton e di pesci. Fenomeni simili sono

¹ Valore che indica il contaminamento e la diminuzione di valore di un alimento.

² Valore che una volta raggiunto indica che l'alimento non è più adatto da consumare.



noti e stati documentati per altri laghi (es.: Lago dei quattro Cantoni, Lago di Walen). Ricordiamo qui che un lago povero di sostanze nutritive è in genere caratterizzato dalla presenza di una grande varietà di specie ma non è in grado di produrre una grande massa di esseri viventi. Rimangono comunque anche altri fattori che potrebbero influire sulla popolazione dei pesci e che dovrebbero essere approfonditi, come lo spurgo dei bacini idroelettrici, la lavorazione degli inerti, il DDT o altre sostanze inquinanti, le specie allo gene competitive, la qualità delle rive, la dinamica artificiale del livello del lago, la gestione della pesca oppure l'effetto cumulativo dei vari fattori.

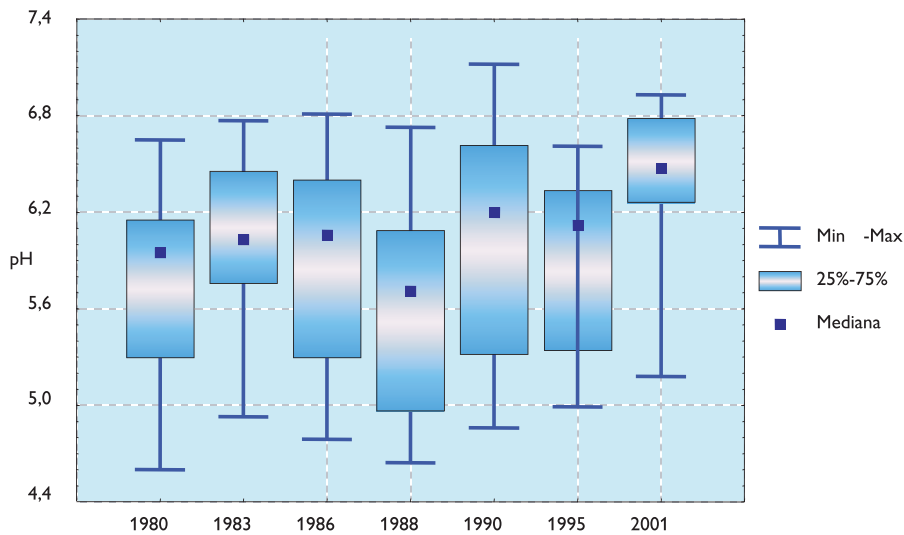
Laghetti di Muzzano, Origlio e Astano

I laghetti di Muzzano, Origlio ed Astano sono poco profondi (in media tra 2 e 5 m).

Analogamente al Ceresio, anche il chimismo del laghetto di **Muzzano** è stato influenzato fortemente dallo sviluppo demografico degli ultimi 30-50 anni. Il solo affluente del lago infatti fu canalizzato e utilizzato come ricettore delle acque di scarico domestiche. Negli anni '60 la concentrazione di fosforo nel laghetto raggiunse circa 300 µg P/l. Nel luglio del 1967 ci fu la prima importante moria di pesci (v. fig. A a p. 7). La costru-

zione nel 1969 di una piccola stazione di depurazione contribuì alla diminuzione del carico di sostanze organiche che si riversavano direttamente nel lago. Nel 1978 l'impianto fu poi smantellato perché le acque luride furono convogliate all'impianto di depurazione di Lugano-Bioggio. Restava però ancora il problema degli scaricatori di piena: infatti durante forti precipitazioni le acque di stramazzo si riversavano direttamente nel laghetto. Nel 1994 vi fu una nuova importante moria di pesci a causa della mancanza di ossigeno venutasi a creare nel lago per via della decomposizione del materiale organico. Allora le concentrazioni di fosforo si aggiravano attorno ai 75 µg P/l, valore di molto inferiore rispetto agli anni '60 ma comunque ancora troppo alto. Con la recente posa del collettore per le acque di stramazzo (1999) la situazione è migliorata ulteriormente. Quest'opera passa infatti in parte sul fondo del laghetto ed evita gli scarichi episodici in caso di forti precipitazioni. Oggigiorno le concentrazioni di fosforo variano tra 30 e 90 µg P/l nel corso dell'anno e, seppur diminuite, caratterizzano ancora uno stato eutrofico. Le principali fonti di fosforo che determinano queste concentrazioni tuttora elevate sono l'autofertilizzazione del laghetto dovuta alla rimessa in circolazione del fosforo contenuto nei sedimenti e l'uso di fertilizzanti da parte dell'agricoltura nell'area circostante.

Nel laghetto di **Origlio** le concentrazioni di fosforo sono minori (30 µg P/l) rispetto al laghetto di Muzzano. Per un'ulteriore riduzione delle concentrazioni bisognerebbe intervenire sulle immissioni diffuse come l'agricoltura. Da non dimenticare, analogamente al laghetto di Muzzano, l'influsso dell'autofertilizzazione dovuta al fosforo accumulatosi nei sedimenti negli anni passati. Menzioniamo pure la moria di pesci avvenuta nel gennaio 2002 per mancanza di ossigeno. La situazione si è venuta a creare a causa della prolungata siccità che ha ridotto il riciclo dell'acqua (e quindi dell'ossigeno), a causa delle temperature molto basse che hanno portato al gelo della superfi-



cie del lago (e quindi interrotto il contatto con l'ossigeno atmosferico) e alla decomposizione dell'eccessivo quantitativo di materiale organico formatosi durante la stagione calda che ha consumato l'ossigeno presente.

Non vi sono problemi di eutrofizzazione nel laghetto di **Astano**, le cui concentrazioni di fosforo sono di 15 µg P/l e caratterizzano uno stato povero di sostanze nutritive.

Laghetti alpini

La qualità delle acque dei laghetti alpini vengono studiate da ormai circa 20 anni dalla SPAAS anche in collaborazione con l'Istituto Italiano di Idrobiologia del CNR di Pallanza. Questi studi iniziarono quando venne segnalata una moria di pesci nel laghetto di Starlaresc da Sgiòf (Valle Verzasca) e venne riscontrata una sensibilità all'acidificazione di molti laghetti alpini. Questa sensibilità è dovuta alla presenza di un substrato formato prevalentemente da rocce cristalline, tipico della regione alpina centro occidentale, che non è in grado di tamponare l'acidità proveniente dalle precipitazioni.

Le campagne di monitoraggio avvengono con un intervallo di circa 3-5 anni. In queste occasioni si analizzano le acque di 51 laghetti. I parametri rilevati sono la temperatura, il pH, l'alcalinità, la trasparenza, l'ossigeno, la conducibilità elettrica, le sostanze nutritive,

altri anioni e cationi e occasionalmente il fitoplancton e lo zooplancton. Nell'ambito del Programma Cooperativo Internazionale per la Valutazione e il Monitoraggio dell'Acidificazione dei Fiumi e dei Laghi iniziato nel 2000 e al quale la SPAAS partecipa, si sono scelti inoltre una ventina di laghetti (in parte già studiati nel programma di monitoraggio menzionato prima) le cui acque vengono analizzate due volte all'anno. Accanto ai parametri menzionati prima si misurano anche le concentrazioni di alcuni metalli pesanti come l'alluminio, e si studia la popolazione ittica e di macroinvertebrati.

Normalmente il pH di un laghetto dovrebbe variare tra 6,5 e 8,5. L'acidificazione in generale provoca una diminuzione del numero di specie di piante e animali. Il numero di animali bentici (come lumache, conchiglie e crostacei), molto sensibili a fenomeni di acidificazione, comincia a diminuire già quando il pH scende sotto 6,5. A pH ancora inferiori spariscono specie ittiche sensibili come per esempio i salmonidi. Sembra che la causa principale di questi danni non sia direttamente l'acidità ma l'aumento delle concentrazioni di alluminio (tossico per molte specie) che è favorito dalle condizioni acide.

Osservando i dati del 1995 dei 51 laghetti studiati, si nota come 32 laghetti su 51 hanno un pH inferiore a 6,5 (v. cartina E).

Il grafico F rappresenta l'evoluzione del pH medio di 23 laghetti alpini ticinesi dal

1980. L'andamento del valore pH negli ultimi 20 anni presenta variazioni annuali probabilmente legate alle variazioni meteorologiche. Non esiste tuttavia un trend statisticamente significativo.

Bibliografia

Calderoni, A.; De Bernardi, R.: Ricerche sulla distribuzione e gli effetti nel DDT nell'ecosistema del Lago Maggiore. Rapporto finale sui risultati delle indagini. Pallanza, Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (CIP AIS), 1999.

Istituto Italiano di Idrobiologia-C.N.R.: Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Pallanza, Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (CIP AIS), 1980-1999.

Laboratorio Studi Ambientali, Cantone Ticino: Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (CIP AIS), 1980-1999.

«32 su 51 laghetti alpini sono troppo acidi.»