

Sechi, Nicola (1986) *Il Problema dell'eutrofizzazione dei laghi: la situazione trofica degli invasi della Sardegna*. Bollettino della Società sarda di scienze naturali, Vol. 25 (1986), p. 49-62. ISSN 0392-6710.

<http://eprints.uniss.it/3267/>

ISSN: 0392-6710

VOL. XXV

S. S. S. N.

1986

BOLLETTINO

della

SOCIETÀ SARDA
DI SCIENZE NATURALI

GALLIZZI - SASSARI - 1986

La Società Sarda di Scienze Naturali ha lo scopo d'incoraggiare e stimolare l'interesse per gli studi naturalistici, promuovere e sostenere tutte le iniziative atte alla conservazione dell'ambiente e costituire infine un Museo Naturalistico Sardo.

S.S.S.N.
SOCIETÀ SARDA di SCIENZE NATURALI

Via Muroni, 25 - 07100 Sassari.

CONSIGLIO DIRETTIVO (1983-1985)

Presidente: Franca Valsecchi.

Segretario: Bruno Corrias.

Consiglieri: Giovanni Cordella, Franca Dalmasso, Paolo Roberto Federici,
Maria Pala.

Revisori dei Conti: Aurelia Castiglia, Enrico Pugliatti, Giovanni M. Testa.

Collegio Probiviri: Tullio Dolcher, Giovanni Manunta, Vico Mossa.

Consulenti editoriali per il XXV Volume:

Prof. Pier Virgilio ARRIGONI (Firenze)

Prof. Luigi BARBANTI (Pallanza)

Prof. Glauco GOTTARDI (Modena)

Prof. Massimo MAZZINI (Siena)

Prof. Guido MOGGI (Firenze)

Prof. Enio NARDI (Firenze)

Prof. Franco PEDROTTI (Camerino)

Direttore Responsabile e Redattore
Prof. FRANCA VALSECCHI

Autorizzazione Tribunale di Sassari n. 70 del 29.V.1968

**Il problema dell'eutrofizzazione dei laghi.
La situazione trofica degli invasi della Sardegna**

NICOLA SECHI

Istituto di Botanica dell'Università
Via Muroni, 25 - 07100 Sassari

Sechi N., 1986 - **The problem of lake eutrophication. The trophic situation of Sardinia man-made lakes.** Boll. Soc. Sarda Sci. Nat., 25: 49-62.

The general problem of lake eutrophication is presented. The trophic situation of Sardinia man made lakes is also shown. Among 25 of 38 reservoirs located in Sardinia 4 are oligotrophic, 4 mesotrophic and 17 eutrophic. It is point out the need of monitoring the trophic status of all reservoirs and the need of eutrophication control because of drinking utilization of lake waters.

KEY WORDS: Eutrophication, Man made lakes, Sardinia.

IL PROBLEMA DELL'EUTROFIZZAZIONE

Com'è noto gli organismi vegetali per crescere hanno bisogno di nutrienti sotto forma di elementi minerali ed in particolare dei sali di fosforo e di azoto.

Questi due elementi chimici sono i maggiori responsabili dei bassi livelli produttivi quando sono presenti in quantità limitate. Un ambiente acquatico con limitate disponibilità di fosforo ed azoto viene chiamato «oligotrofico» mentre uno con elevate disponibilità degli stessi viene chiamato «eutrofico» (NAUMANN, 1919, 1931), un lago con disponibilità intermedia viene chiamato «mesotrofico».

Per meglio comprendere gli effetti conseguenti ai tre stati trofici è utile premettere qualche aspetto limnologico. In un lago come quelli della Sardegna, le masse d'acqua sono omogenee termicamente solo in inverno, quando la temperatura è uguale dalla superficie al

fondo; in questa situazione il contenuto dei sali disciolti ed in particolare del fosforo e dell'azoto è uguale lungo tutta la colonna d'acqua. L'effetto dell'eventuale crescita del fitoplancton (nei laghi artificiali è l'unica componente vegetale che abbia importanza) negli strati superficiali illuminati viene trasferito a tutta la massa d'acqua dai moti turbolenti innescati dal vento. Di norma però in inverno, a causa delle basse temperature e della bassa intensità luminosa, il fitoplancton si sviluppa pochissimo anche se il fosforo e l'azoto sono abbondanti. Col progredire delle stagioni la temperatura aumenta provocando un veloce riscaldamento delle acque superficiali che, essendo meno dense di quelle profonde fredde, permangono in superficie. Molto schematicamente si creano tre masse d'acqua: una superficiale calda ed illuminata, dove si sviluppa il fitoplancton, detta epilimnica; una intermedia, di profondità molto variabile, con temperature progressivamente più basse da microstrato a microstrato verso il fondo, detta metalimnica; un'altra profonda a temperatura fredda e costante detta ipolimnica. Le acque metalimniche ed ipolimniche risultano isolate dal contatto con l'atmosfera e dai relativi scambi gassosi, con particolare riferimento all'ossigeno disciolto.

In situazione di oligotrofia il fitoplancton, a causa delle basse concentrazioni di azoto ed in particolare di fosforo, inferiori a 10 mg P m^{-3} , cresce pochissimo e, in termini di contenuto di clorofilla *a*, non supera i $2,5 \text{ mg m}^{-3}$ come valore medio annuale e gli 8 mg m^{-3} come valore di picco (OCDE, 1982). La produzione di sostanza organica è pertanto minima e quando essa sedimenta, attraversando il metalimnio e l'ipolimnio, consuma poco ossigeno per essere demolita; le acque profonde quindi non ne vengono impoverite eccessivamente. In questa situazione le masse d'acqua, sia superficiali che profonde, presentano sempre caratteristiche ottimali per tutti gli usi.

In un ambiente eutrofico il fitoplancton, a causa degli elevati contenuti di detti nutrienti (superiori a $20\text{-}35 \text{ mg P m}^{-3}$ nel caso del fosforo), cresce eccessivamente e la clorofilla *a*, come espressione della biomassa algale, tende a superare gli 8 mg m^{-3} come valore medio annuale e i 25 mg m^{-3} come valore di picco (OCDE, 1982). Il pH negli strati superficiali, a causa dell'elevata attività fotosintetica, si innalza verso valori molto basici (si può arrivare ed andare oltre le 10 unità). Nelle acque ipolimniche si accumula una grande quantità di sostanza organica, prodotta dal fitoplancton nella zona fotica dell'epilimnio, che provoca un consumo spinto e persino totale

dell'ossigeno; viene a crearsi un ambiente anossico riducente dove si producono ammoniaca, metano, acido solfidrico, fosforo, ferro, manganese, etc.

Lo stato trofico di un lago è determinato quindi dalla concentrazione dei nutrienti delle acque lacustri conseguente ai quantitativi che arrivano dal bacino imbrifero. È possibile trovare situazioni naturali di oligotrofia ed eutrofia; quest'ultima peraltro si instaura dopo un processo lunghissimo (in tempi geologici) di eutrofizzazione naturale (STROM, 1930; LINDEMAN, 1942) per effetto dell'interramento della conca lacustre che consente un progressivo aumento dell'interazione dei sedimenti, ricchi di nutrienti, con le acque superficiali. A questo processo naturale, nell'ultimo secolo, se n'è sovrapposto uno artificiale, causato dall'uomo con le sue attività (disboscamiento e quindi erosione, eccessiva concimazione agraria, eccessivo allevamento zootecnico, eccessiva presenza di popolazione, utilizzazione di detersivi contenenti fosforo, attività industriali) provocando un continuo aumento dei quantitativi dei nutrienti nei laghi i cui bacini imbriferi sono interessati da dette attività. Pertanto si è provocato un fenomeno, a progressione molto veloce, di eutrofizzazione culturale secondo la definizione di HASLER (1947). Essa evolve parallelamente al miglioramento delle condizioni socio-economiche della popolazione se a questo miglioramento non si abbinano tutti gli interventi e gli accorgimenti atti ad impedirla.

Il processo di eutrofizzazione culturale consiste pertanto in un continuo aumento dell'apporto di fosforo e azoto fino a superare la capacità recettrice di un lago innescando dei cambiamenti strutturali nella composizione delle specie vegetali ed un'eccessiva crescita dei medesimi (VOLLENWEIDER, 1968); a ciò conseguono vari inconvenienti (OECD, 1980) quali:

- 1) abbondanza di sostanze particellate (lo stesso fitoplancton, zooplancton, batteri, funghi e detriti);
- 2) abbondanza di composti chimici inorganici tipo ammoniaca, nitrati, acido solfidrico, etc. che negli impianti di potabilizzazione inducono la formazione di sostanze dannose come ad es. le nitrosammine indiziate di mutogenicità;
- 3) abbondanza di sostanze organiche che impartiscono odori e sapori sgradevoli ai pesci ed all'acqua, appena mascherati dalla clorazione nel caso di uso potabile. Queste sostanze inoltre hanno

proprietà chelanti e complessanti che impediscono i normali processi di potabilizzazione, si depositano sulle pareti dei tubi di aduzione accelerando la corrosione e limitando la portata.

- 4) l'acqua acquista degli odori e sapori sgradevoli (di terra, di pesce marcio, di garofano, di cocomero, etc) anche per la presenza di particolari alghe; questo inconveniente, nell'utilizzazione potabile delle acque, può essere eliminato dall'uso dei carboni attivi che però, a causa dell'elevato contenuto di sostanza organica, vengono velocemente disattivati;
- 5) abbondanza di metano, etano ed acidi umici che insieme alla sostanza organica durante la potabilizzazione ed in seguito alla clorazione, formano dei cloroderivati, i cosiddetti trialometani, indiziati di mutogenicità (DOWTY et al., 1975; HARRIS and BREECHER, 1974);
- 6) scomparsa o forte diminuzione dei pesci pregiati con effetti fortemente negativi sulla pesca (invece di specie pregiate come ad es. la trota si affermano quelle indesiderabili come la carpa);
- 7) possibile affermazione di alghe tossiche con pericolo di danni sulla popolazione e sul bestiame che si abbevera delle acque interessate (CARMICHAEL, 1981; SCHWIMMER and SCHWIMMER, 1968; LIPPY and ERB, 1976; AZIZ, 1974);
- 8) interdizione all'uso turistico del lago ed alla balneazione sia per il cattivo odore che si riscontra nelle rive a causa della presenza di certe alghe sia per la torbidità e l'aspetto tutt'altro che pulito ed attrante delle acque; la balneazione è pericolosa perché alcune alghe provocano irritazione della pelle (BILLINGS, 1981).

Alla luce di queste pesanti ripercussioni e dei gravi danni economici e naturalistici conseguenti appare evidente l'esigenza di porre freno al progredire o meglio di far regredire l'eutrofizzazione nei laghi interessati.

Sulla base di queste considerazioni si è passati, nelle nazioni più sviluppate, sia all'attuazione di opportuni programmi di gestione dei territori compresi nei bacini imbriferi dei laghi sia al recupero dei corpi idrici partendo dalla riduzione del fosforo (l'elemento più facilmente controllabile). Parallelamente a questa opportuna politica gestionale è sorta la necessità di verificare la correttezza di un intervento da un punto di vista sia ecologico sia finanziario (costi pro-

porzionali ai benefici). Infatti è inutile ipotizzare interventi se indagini scientifiche e valutazioni modellistiche non danno indicazioni di buona riuscita.

Alcuni modelli matematici sviluppati nell'ultimo ventennio (VOLLENWEIDER, 1968, 1976; RECKHOW, 1977; WALKER, 1977; LARSEN and MERCIER, 1976, etc) possono provvedere sia lo stato trofico ed i possibili miglioramenti ambientali conseguenti alla limitazione del fosforo, in qualsiasi percentuale essa venga attuata, sia la non convenienza economica di un risanamento che non preveda la riduzione del carico del fosforo entro limiti tali da riportare un corpo idrico ad uno stato trofico giudicato conveniente da indagini preliminari.

Questi modelli, basati tutti sulla rimozione del fosforo, per essere utilizzati devono rispondere a determinati requisiti:

- A) che non vi siano effetti limitanti da parte di nutrienti diversi dal fosforo, non evidenziati con ricerche preliminari;
- B) che non vi siano composizioni algali devianti, come requisiti di fosforo, da quanto previsto nel modello;
- C) che non vi siano effetti di pascolo e predazione particolari da parte dello zooplancton e dei pesci;
- D) che non si verifichi l'utilizzazione del fosforo e dell'azoto in compartimenti diversi da quelli previsti nel modello;
- E) che nel corpo idrico in questione il ciclo del fosforo e quello dell'azoto non siano molto più complessi del previsto;
- F) che non si verifichino variazioni climatiche non previste nel modello;
- G) che non sussistano errori analitici o di campionamento che portino a gravi errori previsionali;
- H) che il corpo idrico in questione rientri nella casistica che sta alla base del modello empirico utilizzato; questa verifica deve avvenire a priori dell'uso del modello;

È quindi evidente l'estrema complessità del problema eutrofizzazione e delle fasi di procedura scientifica che bisogna seguire per arrivare all'obiettivo proposto e cioè ridurre l'eutrofizzazione. In tutti i casi anche senza voler procedere immediatamente al recupero di un lago eutrofizzato è più che evidente la necessità di continui controlli che permettono di tenere sotto osservazione il processo (in relazione agli effetti sulla qualità dell'acqua) e di acquisire una serie

temporale di dati necessari nel momento in cui si vuole procedere ad un intervento. Infatti, per l'applicazione di un modello, ai fini di un risanamento, e quindi per avere previsioni sicure, bisogna disporre di dati che siano il più possibile abbondanti in ogni caso comprendente almeno un ciclo annuale in condizioni idroclimatiche normali.

La procedura che, in linea di massima, si dovrebbe seguire per affrontare scientificamente il problema dell'eutrofizzazione può essere schematizzata come segue (OCDE, 1982):

- I) indagine conoscitiva sulla situazione trofica dei corpi idrici interessati. Due o quattro campionamenti annuali nella colonna d'acqua possono essere sufficienti allo scopo;
- L) indagine teorica per la valutazione del carico del fosforo derivante dal bacino imbrifero sulla base delle attività ivi presenti; valutazione del carico critico e verifica delle eccedenze;
- M) avvio sui corpi idrici eutrofizzati di indagini limnologiche per verificare le condizioni di cui ai punti A, B, C, D, E, G e H;
- N) avvio delle indagini sperimentali per la valutazione reale del flusso idraulico e del carico del fosforo. Questa può essere concomitante alla voce M;
- P) applicazione del modello matematico; verifica della possibile coincidenza dei valori di carico ricavati in base alle voci L e M. In caso di incongruenza ricerca delle cause e di eventuali errori. Quando questi due valori sono simili, entro certi limiti prefissati e sulla base dei dati disaggregati per fonti di rilascio, si procede alla identificazione delle fonti su cui è possibile un'azione di riduzione del fosforo. Mediante un procedimento iterativo si effettua l'identificazione delle fonti e delle percentuali relative fino ad arrivare o, perlomeno, approssimarsi alla riduzione ipotizzata per riportare il corpo idrico alle condizioni desiderate; verifica della convenienza economica e naturalistica dell'intervento;
- Q) avvio delle opere atte a ridurre il carico del fosforo e prosecuzione delle indagini limnologiche per verificare i risultati ed eventualmente correggere alcuni degli interventi programmati.

LA SITUAZIONE TROFICA DEI LAGHI DELLA SARDEGNA

La Sardegna è sprovvista di laghi naturali, salvo il piccolo Lago di Baratz situato nella Nurra. Essa presenta un clima caratterizzato

da un semestre umido, con disponibilità di risorse idriche superficiali e profonde, e da un semestre arido con disponibilità di risorse idriche esclusivamente profonde. Pertanto per far fronte alle molteplici esigenze della popolazione (produzione di energia elettrica, irrigazione, approvvigionamento idropotabile, usi industriali) si sono realizzati, con la costruzione di dighe di sbarramento fluviale, numerosi invasi.

I laghi artificiali attualmente esistenti, con volumi d'invaso superiore a 100 mila metri cubi, sono 38; l'elenco è presentato nella Tabella 1 insieme alla quota (m s. l. m.), al volume di massimo invaso, alla relativa superficie, al tipo d'uso ed all'anno di realizzazione del primo invaso. Come si può vedere l'utilizzazione alimentare interessa quasi tutti i laghi e ciò pone in grande rilievo l'aspetto qualitativo delle acque, in particolare quello determinato dallo stato trofico.

Fino ad oggi questo aspetto non è stato considerato con la dovuta importanza, nonostante i gravi problemi ad esso connessi di cui si è fatto cenno in precedenza; questo essenzialmente per due motivi: uno politico-gestionale di ordine generale che non ha preso in considerazione gli effetti sull'ambiente acquatico, in senso trofico, delle crescenti attività produttive presenti nei bacini imbriferi, l'altro tecnico-ingegneristico che ha considerato i laghi solo come delle «vasche» con un ingresso e un'uscita d'acqua. Ne consegue che i laghi artificiali della Sardegna sono stati costruiti considerando solo la materia prima visibile, cioè l'acqua, ed ignorando tutto ciò che l'acqua si porta appresso e che le deriva dal bacino imbrifero; alla cattiva qualità dell'acqua si è cercato di porre rimedio, nel caso dell'uso alimentare, allestendo impianti di potabilizzazione supersofisticati.

Solo di recente il problema dell'eutrofizzazione dei laghi della Sardegna è emerso in tutta la sua gravità in seguito ai risultati ottenuti da alcune ricerche scientifiche. La prima indagine, avviata nel 1977 nell'ambito del Progetto Finalizzato del C.N.R. «Promozione della Qualità dell'Ambiente», ha permesso di controllare 25 laghi dei 38 esistenti e di allestire un primo quadro, anche se preliminare della situazione trofica (SECHI e COSSU, 1979; SECHI, 1983, 1986). Nel contempo e successivamente 8 di questi 25 laghi (Coghinas, Bunnari, Cuga, Omodeo, Liscia, Mulargia, Flumendosa e Simbirizzi) sono stati studiati o sono ancora in corso di studio con indagini dettagliate per

Tab. 1 - Elenco dei laghi attualmente in esercizio. Sono riportate le quote di massimo invaso, i volumi massimi, le relative aree, il tipo di uso (EE = energia elettrica; IR = irriguo; AL = alimentare; IN = industriale) e l'anno del primo invaso.

Lago	Quota	Volume	Area	Tipo di uso	Anno
B. MELA	806	0,21	0,03	EE	1956
LOIRI	46	0,20		IR AL	1929
S. ANTONIO	154	0,20		IR	1957
B. MANDARA	803	0,31	0,05	EE	1950
C. FIUME	78	0,60		IR AL IN	1971
SINNAI II		0,40		AL	
BUNNARI I	287	0,45		AL	1866
CORONGIU II	156	0,55	0,15	AL	1915
MONTEPONI	367	1,00	0,10	IN AL	1954
BENZONE	153	1,08	0,27	EE AL IN	1962
BUNNARI II	315	1,13	0,08	AL	1932
FLUMINEDDU	275	1,50	0,13	IR AL EE IN	1982
SA FORADA	90	1,60		IR AL IN	1962
SURIGHEDDU	50	2,12	0,54	AL IR	1967
BARATZ	30	2,50	0,46		NATURALE
FONNI	915	2,60	0,27	AL	1953
TORREI	800	3,00	0,17	AL	1975
S. CANALES	714	3,50	0,22	AL	1956
CASTELDORIA	28	3,55	0,40	IR EE AL IN	1926
CORONGIU III	203	4,35	0,27	AL	1939
B. PRESSIU	249	8,50	0,22	AL	1977
BIDIGHINZU	334	11,00	1,50	AL	1958
P. GENNARTA	257	12,70	0,74	AL IR	1962
IS BARROCCUS	415	15,00	1,50	AL	IN COSTR.
CUCCHINADORZA	350	16,50	1,20	EE	1962
CASTEDDU	146	19,00	1,65	AL IR	IN COSTR.
CUGA	114	27,00	2,40	AL IR	1975
LENI	250	28,00	1,40	AL IR	
POSADA	43	28,00	2,80	IR AL	1958
SIMBIRIZZI	33	28,50	3,10	AL IR	1986
CEDRINO	130	30,00	1,13	IR AL	1984
CIXERRI	40	32,00	5,00	IR AL	IN COSTR.
B. MUGGERIS	658	48,00	3,20	EE AL	1950
GUSANA	645	58,00	2,43	EE	1961
M. PRANU	46	62,00	6,56	IR AL	1956
PATTADA	363	75,00	5,00	IR AL	1984
MONTELEONE	223	86,00	7,00	IR AL	1984
LISCIA	180	105,00	4,00	AL IR IN	1961
OMODEO	118	150,00	13,50	EE IR AL	1924
OSCHIRI	170	250,00	17,05	EE IR AL IN	1927
N. ARRABIU	269	292,00	8,40	AL IR EE IN	1957
MULARGIA	258	320,00	12,00	AL IR EE IN	1957

avere un quadro preciso della situazione trofica (SECHI, 1978, 1981; SECHI e COSSU, 1983; SECHI e MANCA, 1983; SECHI e MOSELLO, 1985; SECHI e altri, 1985, 1986; BARBANTI e altri, 1979; MARCHETTI, 1979; COTTA RAMOSINO e ROSSARO, 1979).

Con i dati attualmente disponibili i 25 laghi sardi già oggetto di studio possono essere classificati come segue:

laghi oligotrofici: Corongiu II, Corongiu III, S. Canales e B. Muggeris per complessivi 11 milioni di metri cubi di capacità di invaso;

laghi eutrofici: Baratz, Posada, Gusana, Cucchinadorza, Benzone, Mulargia, M. Pranu, Liscia, Pattada, Cuga, Oschiri, Surigheddu, Omodeo, Casteldoria, Monteleone Roccadoria, Bidighinzu e Bunnari II per complessivi 1200 milioni di metri cubi d'invaso; tra questi laghi spiccano per l'elevato livello di eutrofia quelli di Liscia, Pattada, Oschiri, Omodeo, Monteleone Roccadoria, Bunnari ed inoltre, ad un livello ancora superiore, quello di Bidighinzu;

laghi a trofia intermedia (mesotrofici): Fonni, B. Pressiu, N. Arrubiu e Punta Gennarta per complessivi 315 milioni di metri cubi d'invaso.

Le situazioni di tre laghi quali il Bidighinzu, ad eutrofia elevatissima, il Liscia, ad eutrofia elevata, e il Mulargia, ad eutrofia moderata, possono essere prese come esempio descrivendole negli aspetti essenziali. Fin dai primi anni d'invaso e di utilizzazione (esclusivamente potabile) delle acque del Bidighinzu si ebbero le manifestazioni tipiche dell'eutrofia: deossigenazione ipolimnica, solubilizzazione di ferro e manganese, formazione di acido solfidrico, ammoniaca etc (ALAMANNI e altri, 1971). A livello di potabilizzazione si verificarono gravi inconvenienti tanto che l'impianto di potabilizzazione venne modificato inserendo una fase di microfiltrazione per abbattere il carico algale prima della flocculazione (ALAMANNI, Bo e MAIDA, 1968). Nella parte del lago adiacente alla torre di presa venne installato un sistema di insufflazione d'aria per eliminare gli inconvenienti dello stato anossico dell'ipolimnio (MESSINA, 1966). Nonostante questi interventi il trattamento dell'acqua presenta tuttora gravi inconvenienti. Lo stato trofico definito nel 1979 (SECHI e COSSU, 1979) ha evidenziato una situazione di ipereutrofia: la concentrazione dei principali nutrienti algali rilevata nel periodo invernale ha presentato livelli estremamente elevati (250 mg P m⁻³ di fosforo totale e 1200 mg N m⁻³ di azoto minerale); nel periodo estivo la clorofilla *a* ha evidenziato contenuti di 300 mg m⁻³ espressi da popolamenti algali dominati da Cianoficee, con i generi *Microcystis*, *Anabaena* e *Aphanizomenon*, e Dinoflagellati, con il genere *Ceratium*, tipici delle situazioni eutrofiche più spinte, con densità superiori ai 100 milioni di cellule per litro; nonostante un profilo termico quasi omogeneo, la saturazione dell'ossigeno disciolto, lungo la colonna d'acqua della stazione di prelievo, presentava un fortis-

simo gradiente con valori del 150% in superficie, del 50% ad 1 metro di profondità, del 10% a 10 metri e anossia totale a 15 metri a testimonianza degli esuberanti livelli produttivi in zona fotica e dei conseguenti fenomeni demolitivi negli strati sottostanti. L'analisi delle attività presenti nel bacino imbrifero (abitanti, caseifici, patrimonio zootecnico, concimazioni e suolo naturale), ha permesso di calcolare, seppure in termini prudenziali, data l'estrema difficoltà di conoscere la reale attività dei caseifici, un carico teorico di fosforo di circa 6,3 tonnellate per anno (SECHI, 1986) a cui le fonti diffuse (allevamento zootecnico allo stato brado, concimazioni e suolo) contribuiscono per circa 1,5 tonnellate per anno. Il carico permessibile, calcolato applicando il modello di Vollenweider (OCDE, 1980), è di circa 0,6 tonnellate per anno. Supponendo il fosforo quale nutriente limitante e supponendo di eliminare l'apporto dovuto alle fonti puntiformi lo stato trofico del Lago Bidighinzu rimarrebbe ugualmente eutrofico, ma ad un livello enormemente inferiore e quindi con danni più limitati per la qualità dell'acqua.

La situazione eutrofica del Lago Liscia è stata evidenziata da MARCHETTI (1979) e da SECHI e COSSU (1979). Attualmente nel lago è in corso un'indagine limnologica, avviata in seguito a morie di pesci, verificatesi nell'estate del 1985, e a gravi inconvenienti sempre presenti nella potabilizzazione a causa della pessima qualità delle acque. Nell'arco di tempo finora indagato il contenuto di fosforo totale si è mantenuto intorno a 60 mg P m^{-3} , quello dell'azoto minerale intorno a 1000 mg N m^{-3} , quello della clorofilla *a* intorno a 18 mg m^{-3} ; le specie algali più importanti sono le Cianofite tipiche di situazioni eutrofiche avanzate (*Anabaena flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* ed *Aphanizomenon flos-aquae*) con densità che in varie occasioni hanno superato i 200 milioni di cellule per litro. La deossigenazione delle acque nel periodo estivo interessa l'intera massa ipolimnica a partire da 7 metri di profondità. Il carico teorico di fosforo derivante dal bacino imbrifero (SECHI, 1986) è di circa 27 tonnellate per anno di cui 17 derivanti da fonti puntiformi. Il lago può sopportare un massimo di 4 tonnellate per anno. Pertanto, anche in questo lago, è probabile che l'eventuale riduzione del fosforo, ammesso il suo ruolo di limitante primario, consenta un notevole miglioramento dello stato trofico ma non il raggiungimento di uno stato mesotrofico.

Il Lago Mulargia è stato classificato eutrofico da SECHI e COSSU, (1979). Nel 1985 una fioritura imponente di *Oscillatoria rubescens* protrattasi da gennaio a luglio ha creato vari inconvenienti per l'utilizzazione dell'acqua. Le indagini avviate per studiare il processo e tenere sotto controllo limnologico il lago hanno permesso di confermare uno stato eutrofico (SECHI e LUGLIÉ, 1987; SECHI et al. 1986): nel 1985 il contenuto medio annuale del fosforo totale e dell'azoto minerale si è attestato sui 41 mg P m⁻³ e 303 mg N m⁻³ quello della clorofilla *a*, nella zona fotica, sui 15 mg m⁻³, l'ossigeno è mancato durante la stratificazione termica in tutta la massa ipolimnica (dai 15 ai 60 metri di profondità); nel 1986 il contenuto medio annuale del fosforo totale e dell'azoto minerale si è attestato sui 40 mg P m⁻³ e 304 mg N m⁻³, quello della clorofilla *a*, nella zona fotica, sugli 8 mg m⁻³, l'ossigeno, durante la stratificazione termica, è mancato in una massa d'acqua più contenuta rispetto al 1985 (dai 25 ai 60 metri di profondità). Il carico teorico di fosforo che può raggiungere il lago, piuttosto difficile da stimare a causa di un'interconnessione del Mulargia con un'altro lago posto a monte, è stato valutato indicativamente in circa 19 tonnellate per anno (SECHI, 1986) superiore di 4 tonnellate al carico permissibile (15 tonnellate per anno). Le indagini su questo lago sono ancora in corso ed è in programma la loro estensione per la valutazione del carico sperimentale del fosforo e dell'azoto per capire realmente l'origine della situazione trofica attuale.

CONCLUSIONI

In conclusione da indagini recenti, condotte per lo più presso l'Istituto di Botanica dell'Università di Sassari, risulta evidente che solo 4 laghi oligotrofici presentano caratteristiche pienamente soddisfacenti, soprattutto per l'uso idropotabile, e che altri 4 mesotrofici hanno caratteristiche accettabili anche se non del tutto soddisfacenti; essi devono essere adeguatamente «protetti» da un ulteriore peggioramento della situazione trofica; nel caso del Lago Nuraghe Arrubiu ad es. la presenza significativa di *O. rubescens* (SECHI e al. 1986), alga tipica dei primi stadi di eutrofizzazione, consiglia, a livello preventivo, l'adozione di una opportuna strategia di controllo

degli scarichi. Gli altri 17 invasi presentano una qualità dell'acqua molto deteriorata e poco idonea, in particolare, all'utilizzazione potabile. Essi necessitano di interventi di recupero appropriati (applicando la procedura descritta a partire dal punto 1). Di altri 13 laghi non si dispone di nessuna informazione.

Dall'esposizione emergono varie problematiche ed esigenze a cui è auspicabile si diano risposte sia in termini scientifici che gestionali quali:

- 1) definizione, almeno in termini conoscitivi, della situazione trofica di tutti gli invasi dell'isola;
- 2) effettuazione di indagini dettagliate nei laghi particolarmente critici dove sussistono inconvenienti nell'utilizzazione dell'acqua;
- 3) dare corso a forme di intervento corrette, come diretta conseguenza del punto precedente;
- 4) per la realizzazione di nuovi laghi, quali quelli in previsione, bisogna verificare a priori il possibile livello trofico al fine di evitare situazioni come quelle esposte dove l'eutrofia è determinata dalle sole fonti diffuse non controllabili.

L'eutrofizzazione delle acque in Sardegna ha assunto dimensioni molto gravi e deve essere affrontata con molto vigore perché essa determina danni ambientali, danni economici (maggiori spese di potabilizzazione, rapido deterioramento delle condotte, pesca scadente, etc.) e rischi igienico-sanitari per la popolazione e per il patrimonio zootecnico.

RIASSUNTO

Viene esposto in linee generali il problema dell'eutrofizzazione delle acque lacustri: le cause, le conseguenze ed i rimedi. Viene presentata poi la situazione trofica dei laghi artificiali della Sardegna che ne vede 17 eutrofici dei 25 laghi controllati rispetto ad un totale di 38 esistenti in Sardegna. Viene rimarcata l'esigenza di estendere il controllo a tutti i laghi e di pianificare già gli interventi per la riduzione dell'eutrofizzazione considerato che tutti i laghi forniscono acque potabili.

PAROLE CHIAVE: Eutrofizzazione, Invasi, Sardegna.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ALAMANNI U., BO G. e MAIDA A., 1968 - Influenza della microfiltrazione sulla potabilizzazione dell'acqua del bacino artificiale del Bidighinzu (Sassari). *Boll. Lab. Chim. Prov.*, 19: 742.

- ALAMANNI U., BO G., DRAGONE F., MAIDA A., PETTINATO S. e MURESU E. 1971 - Il lago artificiale del Bidighinzu (Sassari) quale riserva di acqua ad uso potabile: indagini e osservazioni nei primi sei anni del suo funzionamento. *Rivista Italiana d'Igiene*, **31**: 79.
- AZIZ K.M.S., 1977 - Diarrhea toxin obtained from a waterbloomproduced species, *Microcystis aeruginosa* Kutz. *Science*, **183**: 1206-1207.
- BARBANTI L., SECHI N., COSSU A., MANCA M. e ATZORI P., 1979 - Indagini limnologiche sul L. Omodeo (Sardegna Centrale). *Atti Convegno «Bacini lacustri artificiali»*, Sassari 4-6 ottobre 1977. Pallanza 1979: 345-375. Collana del Programma Finalizzato «Promozione della qualità dell'ambiente». C.N.R. AC/2/4-21.
- BILLINGS W.H. 1981 - Water-associated human illness in northeast Pennsylvania and its suspected association with blue-green blooms. In: CARMICHAEL W.W. (Ed.). *The water environment. Algal toxins and health.*: 243-256. Plenum Press. New York.
- CARMICHAEL W.W. 1981 - Freshwater Blue-green algae (Cyanobacteria) toxins. In: CARMICHAEL W.W. (Ed.) *The water environment. Algal toxins and health.*: 1-14. Plenum Press. New York.
- DOWTY B., CARLISCE D., LASETER J.L. and STOREE J. 1975 - Halogenated hydrocarbons in New Orleans drinking water and blood plasmas. *Science* **187**: 75.
- LIPPY E.C. AND ERB J. 1976 - Gastrointestinal illness at Sewickley, Pa, *J. Am. Water Assoc.*, **68**: 606-610.
- COTTA RAMUSINO M. e ROSSARO B. 1979 - Aspetti biologici dell'invaso artificiale del Liscia. In L. Barbanti (Ed.). *Atti convegno «Bacini lacustri artificiali»*, Sassari 4-6 ottobre 1977. Pallanza 1979: 253-266. Collana del Programma Finalizzato «Promozione della qualità dell'ambiente», C.N.R. AC/2/4-21.
- HARRIS R.H. and BREECHER E.M. 1974 - Is the water safe to drink?. Part I, The problem. Part II, how to make it safer. Part. III, what you can do. *Consumer Rep.* **39**: 436, 536, 618.
- HASLER A.D. 1947 - Eutrophication of lakes by domestic drainage. *Ecology*, **28**: 383-395.
- LARSEN D.P. and MERCIER H.T. 1976 - Phosphorus retention capacity of lakes. *J. Fish Res. Bd. Can.*, **33**: 1742-1750.
- LINDERMAN R.L., 1942 - The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, **23**: 399-418.
- MARCHETTI R. 1979 - Per una limnologia applicata allo studio degli invasi artificiali. In L. Barbanti (Ed.). *Atti Convegno «Bacini lacustri artificiali»*, Sassari 4-6 ottobre 1977. Pallanza 1979: 63-110. Collana del Programma Finalizzato «Promozione della qualità dell'ambiente». C.N.R. AC/2/4-21.
- MESSINA U. 1966 - Attivazione di moti convettivi nelle acque di un lago per promuovere le autodepurazioni. *Ingegneria Sanitaria* **282**: 4-14.
- NAUMAN E. 1919 - Nagra synpunkter agående limnoplanktons okologie. *Svensk. Bot. Tidskr.* **13**: 129-163.
- NAUMAN E. 1931 - *Limnologische terminologie*. Urban and Schwarzenberg. Berlin-Wien.
- OECD. 1980 - *Regional project shallow lakes and reservoirs*. Final report of Cooperative programme for monitoring of inland waters (Eutrophication control). Organization for Economic Co-operation and Development. Paris.
- OECD. 1982 - *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris.
- RECKHOW R.H., 1977 - *Phosphorus models for lake management*. PhD dissertation, Harvard University.
- SCHWIMMER M. and SCHWIMMER D., 1968 - Medical aspects of phycoecology. In: JACKSON D.F. (Ed.). *Algae, man and the environment*: 279-359. Syracuse Univ. Press. New York.
- SECHI N. 1978 - Struttura e biomassa dei popolamenti fitoplanctonici del Lago Omodeo (Sardegna centrale). *Giorn. Bot. Ital.*, **112**: 347-360.
- SECHI N. 1983 - Il fitoplancton e lo stato trofico di alcuni laghi artificiali della Sardegna. In: R. Frache e F. de Strobel (Ed.). *Atti 4° Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*, Chiavari 1-3 dicembre 1980. Genova 1983: **23** 1-11.
- SECHI N. 1986. L'entrofizzazione dei laghi artificiali della Sardegna. *Atti Conv. Qualità Acqua Sardegna, Cagliari-Quartu 15-16 maggio 1986* (in stampa).

- SECHI N. e COSSU A. 1979. Prime valutazioni sui livelli trofici di alcuni bacini artificiali della Sardegna. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **37**: 259-276.
- SECHI N. e COSSU A. 1983 - Lo stato trofico del Lago di Oschiri (Sardegna Settentrionale). In: FRACHE R. e DE STROBEL F. (Ed.). *Atti 4° Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*, Chiavari 1-3 dicembre 1980. Genova 1983: **24**: (1-12).
- SECHI N. e LUGLIÉ A. 1987. le alghe planctoniche dell'invaso del Mulargia (Sardegna centro meridionale) con particolare riferimento ad una fioritura prolungata di *Oscillatoria rubescens* D.C. in rapporto alle condizioni chimiche e fisiche. *Atti 7° Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*, Trieste 11-14 giugno 1986 (in stampa).
- SECHI N. e MANCA R. 1983 - La comunità fitoplanctonica e lo stato trofico del Lago di Oschiri (Sardegna Settentrionale). In: R. Frache e F. De Strobel (Ed.). *Atti 4° Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*, Chiavari 1-3 dicembre 1980. Genova 1983: **25**: 1-9.
- SECHI N. e MOSELLO R. 1985 - Nutrient budget and trophic level of L. Oschiri (Sardinia, Italy). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **43**: 55-75.
- SECHI N., TESTONI G.A. e URBANI M. 1985 - Fitoplancton, nutrienti e stato trofico del Lago Cuga (Sardegna Settentrionale). In F. Cinelli e M. Fabiano (Ed.). *Atti 6° Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*, Livorno 12-14 aprile 1984. Livorno 1985: 361-366.
- SECHI N., LUGLIÉ A., CONTU A., LOIZZO A., SARRITZU G. e VOLTERRA L. 1986. Lo stato trofico dei Laghi Mulargia e Flumendosa. In: *Atti Convegno «La qualità delle acque in Sardegna. Il problema dell'eutrofizzazione: cause, conseguenze, rimedi»*. Cagliari-Quartu 15-16 maggio 1986. (in stampa).
- STROM K.M. 1930 - Limnological observation on Norwegian lakes. *Arch. Hydrobiol.* **21**: 97-124.
- VOLLENWEIDER R. 1968 - Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophications. *O.E.C.D. Technical report*, DAS/CSI/68.27., Paris.
- VOLLENWEIDER R. 1976 - Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **33**: 53-83.
- WALKER W.W. 1977 - *Some analytical method applied to lake water quality problema*. PhD dissertation, Harward University.