

Lugliè, Antonella Gesuina Laura; Manca, Bastianina; Sechi, Nicola (1997)
*Studi limnologici sul Lago Alto Flumendosa (Sardegna centrale): stato
trofico e fitoplancton*. Bollettino della Società sarda di scienze naturali, Vol.
31 (1996/97), p. 83-100. ISSN 0392-6710.

<http://eprints.uniss.it/3168/>

ISSN: 0392-6710

VOL. XXXI

S. S. S. N.

1996/97

BOLLETTINO

della

SOCIETÀ SARDA
DI SCIENZE NATURALI

GALLIZZI - SASSARI - 1997

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 costruire infine un Museo Naturalistico Sardo.

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

Via Muroli, 25 - 07100 Sassari.

CONSIGLIO DIRETTIVO

Presidente: Bruno Corrias.
Segretario: Malvina Urbani.
Consiglieri: Franca Dalmasso, Giacomo Oggiano, Maria Pala, Maura Pugliatti e Antonio Torre.
Revisori dei Conti: Aurelia Castiglia, Enrico Pugliatti e Rosalba Villa.
Collegio Probiviri: Tullio Dolcher, Lodovico Mossa e Franca Valsecchi.

Consulenti editoriali per il XXXI Volume:

Prof. Pier Virgilio ARRIGONI (Firenze)
Prof. Guido BRESSAN (Trieste)
Prof. Angelo CAO (Cagliari)
Prof. Achille CASALE (Sassari)
Prof. Salvador RIVAS MARTINEZ (Madrid)
Prof. Delio RUGGIU (Pallanza)
Prof. Giampaolo SALMOIRAGHI (Bologna)
Prof. Marco TONGIORGI (Pisa)
Prof. Franca VALSECCHI (Sassari)

Direttore Responsabile: Prof. Bruno CORRIAS
Redattore: Prof. Silvana DIANA

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

Studi limnologici sul Lago Alto Flumendosa (Sardegna centrale): stato trofico e fitoplancton

ANTONELLA LUGLIÉ, BASTIANINA MANCA, NICOLA SECHI

Dipartimento di Botanica ed Ecologia Vegetale
Università di Sassari

Luglié A., Manca B., Sechi N., 1997 - **Limnological studies on Alto Flumendosa Reservoir**. Boll. Soc. Sarda Sci. Nat., 31: 83-100.

Alto Flumendosa Reservoir (Central Sardinia), was investigated from February 1990 to February 1993, to study either long time period phytoplankton variations in a mesotrophic mediterranean reservoir and to value the influence of a cage rearing pisciculture on its trophic status. The annual mean values of chlorophyll *a* varied from 2.3 mg m⁻³ in 1991 to 11.1 mg m⁻³ in 1990, annual mean values of biomass from 0.5 mg l⁻¹ in 1993 to 3.9 mg l⁻¹ in 1990 and annual mean values of cellular density from 6 x 10⁶ cells l⁻¹ in 1993 to 11.3 x 10⁶ cells l⁻¹ in 1990. Despite great variations in the species composition of phytoplankton in each year, a general scheme in the algal succession was found with Cryptophyceae in the colder months, Chlorophyceae in the spring months (sometimes in autumn), Cyanophyceae and Dinophyceae in summer, Bacillariophyceae in autumn, Chrysophyceae between winter and spring and Conjugatophyceae in summer or in winter. The trophic status on the basis of phytoplankton composition, chlorophyll *a*, annual mean values of total phosphorus (from 19 mg P m⁻³ in 1993 to 25 mg P m⁻³ in 1990) was mesotrophic but in 1990 the eutrophic probability, on the basis of chlorophyll *a*, was higher. The cage rearing pisciculture was presumed to be responsible of the strong oxygen decreases in hypolimnetic water at the end of the stratification periods.

KEY WORDS: Reservoir, phytoplankton, trophic status.

INTRODUZIONE

Il Lago Alto Flumendosa o Bau Muggeris (Sardegna centro-orientale), realizzato nel 1949 (Fig. 1, Tab. 1), era stato classificato preliminarmente come oligomesotrofico (SECHI e COSSU, 1979); que-

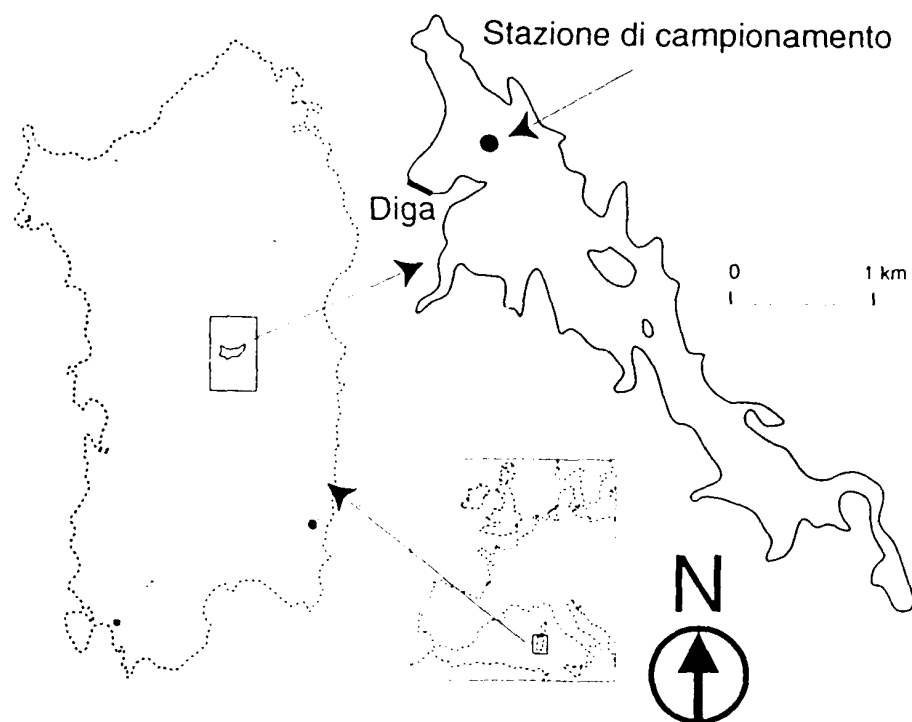


Fig. 1 - Dislocazione del Lago A. Flumendosa e posizione della stazione di campionamento.

Tab. 1 - Caratteristiche morfometriche del Lago Alto Flumendosa.

Anno d'invaso		1949
Bacino imbrifero	km ²	180
Volume massimo nominale	milioni m ³	61,4
Area massima	km ²	3,2
Profondità media	m	19,2

sta valutazione aveva concordato con quella dedotta dall'applicazione di un modello (OCDE, 1982) che, utilizzando il carico di fosforo stimato in base alle caratteristiche territoriali del bacino imbrifero (circa 2,7 t P a⁻¹; SECHI, 1989), aveva indicato delle concentrazioni medie annuali nelle acque lacustri di circa 14 mg P m⁻³.

Le acque del lago vengono utilizzate prima per la produzione di energia elettrica e poi per usi potabili, agricoli ed industriali; nel 1989 sono state installate nel lago delle gabbie galleggianti per l'allevamento della trota iridea (*Salmo gairdneri*) e della trota fario (*Salmo trutta fario*) la cui potenzialità produttiva è di circa 200 q a⁻¹. Que-

sta attività dovrebbe determinare un incremento del carico del fosforo di circa 0,5 t P a⁻¹ ed avere ripercussioni minime sullo stato trofico.

Due anni dopo l'inizio di questa attività è stata avviata un'indagine limnologica che si è protratta per quattro anni consecutivi, dal febbraio 1990 al febbraio 1993.

L'indagine ha avuto due obiettivi principali: a) indagare sulla dinamica del fitoplancton di un lago artificiale di area climatica mediterranea, presunto mesotrofico, in un arco di tempo abbastanza lungo; b) verificare l'ipotesi, a distanza di più anni, che l'impianto di acquacoltura non abbia realmente prodotto variazioni trofiche, raffrontando i risultati ottenuti anche con quelli risalenti agli anni '70 (SECHI e COSSU, 1979).

MATERIALI E METODI

I campioni sono stati prelevati, mediante una bottiglia di Niskin, in una stazione posta ad una distanza di circa 500 metri dalla diga, alle profondità di 0, 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 20, 30 m ed in prossimità del fondo, con cadenza per lo più quindicinale sino al marzo '93 e successivamente mensile. Sul campo, oltre al disco di Secchi per la misura della trasparenza, è stata utilizzata una sonda multiparametrica, previa taratura dei sensori subito prima delle misure, per la rilevazione di temperatura, conducibilità, pH ed ossigeno disciolto.

Tra i parametri analizzati vengono riportati in questo lavoro i risultati relativi alla trasparenza, temperatura, ossigeno disciolto, azoto nitrico ed ammoniacale, fosforo reattivo e totale, clorofilla *a*, densità e biomassa del fitoplancton. Per i metodi adottati si fa riferimento a LUGLIÈ *et al.* (1996). Per la determinazione delle specie fitoplanctoniche sono state utilizzate le guide di BOURRELLY (1970, 1972, 1981), GERMAIN (1981), HUBERT-PESTALOZZI (1938, 1941, 1942, 1955, 1961, 1968, 1982, 1983), HUSTEDT (1930, 1959).

RISULTATI

Il fitoplancton

I risultati relativi al fitoplancton sono riassunti nella Tab. 2, nella quale sono riportate le medie annuali delle singole variabili in ogni

Tab. 2 - Valori medi annuali della clorofilla *a*, densità totale, biomassa totale e trasparenza.

		0-5 m	7,5-10 m
Clorofilla <i>a</i>	mg m ⁻³		
1990		9,1	15,2
1991		2,6	2,1
1992		4,9	4,7
1993		4,1	3,8
Densità totale	10 ⁶ cell. l ⁻¹		
1990		11	12
1991		7	6
1992		7	5
1993		6	6
Biomassa totale	mg l ⁻¹		
1990		3,6	4,6
1991		0,6	0,5
1992		1,6	1,3
1993		0,6	0,4
Trasparenza	m		
1990		4,3	
1991		4,7	
1992		3,3	
1993		2,9	

ciclo. La dinamica del fitoplancton, espressa in termini di clorofilla *a*, densità cellulare e biomassa, ha evidenziato una parziale concordanza nell'andamento dei parametri (Fig. 2). La clorofilla *a* ha infatti evidenziato i valori più elevati nel primo ciclo d'indagine, sia come medie annuali (11,1 mg m⁻³ come media nei primi di 10 m contro 2,3 mg m⁻³, 4,8 mg m⁻³ e 4,0 mg m⁻³ rispettivamente degli altri anni) che come picchi raggiunti (39,8 mg m⁻³ sempre come media nei primi 10 m nell'aprile del 1990 contro 6,2 mg m⁻³ nel luglio del 1991, 16,3 mg m⁻³ nell'ottobre 1992 e 11,2 mg m⁻³ nel dicembre 1993). Le concentrazioni sono state più alte tra l'estate e l'autunno ad eccezione che nel 1990 (Fig. 2), durante il quale i valori più alti sono stati registrati tra l'inverno e l'estate; normalmente i valori sono risultati inferiori ai 5 mg m⁻³. Le medie annuali ed i picchi della densità hanno rispecchiato abbastanza bene quanto già evidenziato per la clorofilla *a* (Fig. 2), con i valori annuali ed i picchi più alti nel 1990 (rispettivamente per le medie 11,3 x 10⁶ cell. l⁻¹ contro 6,8 x 10⁶ cell. l⁻¹, 6,7 x 10⁶ cell. l⁻¹ e 6 x 10⁶ cell. l⁻¹ e per i picchi 124 x 10⁶ cell. l⁻¹ nel luglio 1990 contro 40,6 x 10⁶ cell. l⁻¹ nel settembre 1991, 39 x 10⁶ cell.

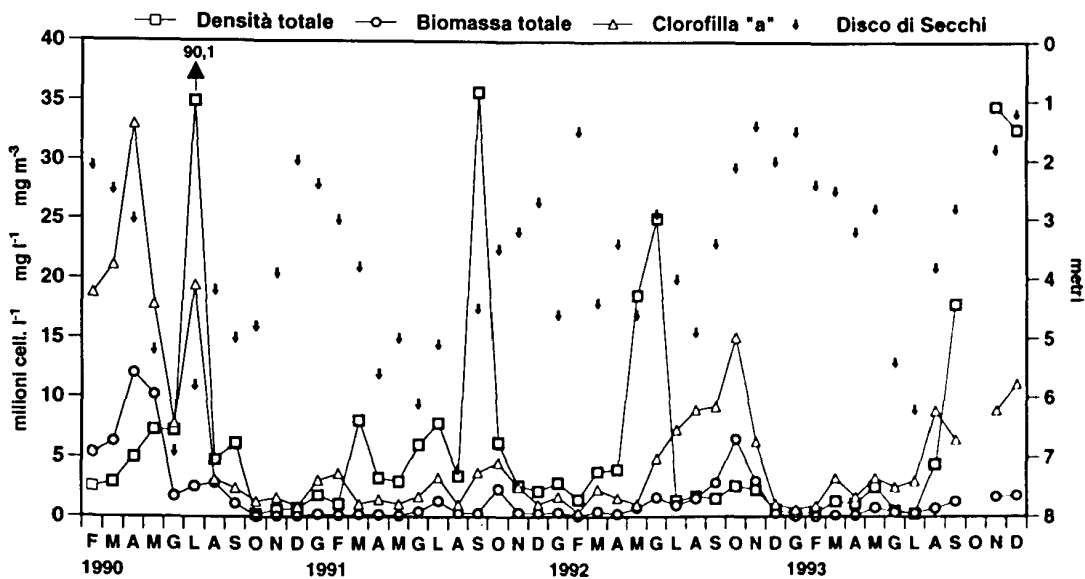


Fig. 2 - Dinamica della densità totale, biomassa totale, clorofilla *a* e trasparenza.

l^{-1} nel giugno 1992 e 34×10^6 cell. l^{-1} nel novembre 1993); le dinamiche nell'ambito dei cicli annuali sono risultate però notevolmente differenti: la densità, normalmente inferiore ai 10×10^6 cell. l^{-1} , ha raggiunto i massimi durante l'estate nel 1990, nel 1991 e nel 1992; solo nel 1993 si è assistito ad un incremento autunnale. La biomassa totale, con medie annuali nei primi 10 m pari a $3,9$ mg l^{-1} nel 1990, a $0,6$ mg l^{-1} nel 1991, a $1,5$ mg l^{-1} nel 1992 ed a $0,5$ mg l^{-1} nel 1993, ha manifestato i maggiori valori nel 1990 ed ha pressoché ricalcato (Fig. 2), nello sviluppo dei picchi, la dinamica della clorofilla *a*: in primavera solo nel 1990 (picco di $18,7$ mg l^{-1} in maggio), in autunno negli altri anni (rispettivamente 3 mg l^{-1} nell'ottobre 1991, $6,6$ mg l^{-1} nell'ottobre 1992 e $1,8$ nel dicembre 1993). Solo eccezionalmente i valori sono stati superiori ai 4 mg l^{-1} . La trasparenza delle acque, risultata massima nel 1991, non ha mostrato alcun particolare rapporto di correlazione con il fitoplancton (Fig. 2), ed ha evidenziato i massimi in estate (pari, nei rispettivi anni, a $6,9$ m, $7,7$ m, $5,8$ m, $6,2$ m, riscontrati tra giugno ed agosto) ed i minimi nei mesi invernali (pari, nei rispettivi anni, a $1,2$ m, $2,0$ m, $1,2$ m, $1,2$ m, riscontrati tra dicembre e febbraio), probabilmente in rapporto all'ingresso di materiale particellato con gli afflussi.

Le classi rilevanti per la composizione percentuale della densità (Fig. 3) sono state le Cyanophyceae (in particolare nel 1990 e nel

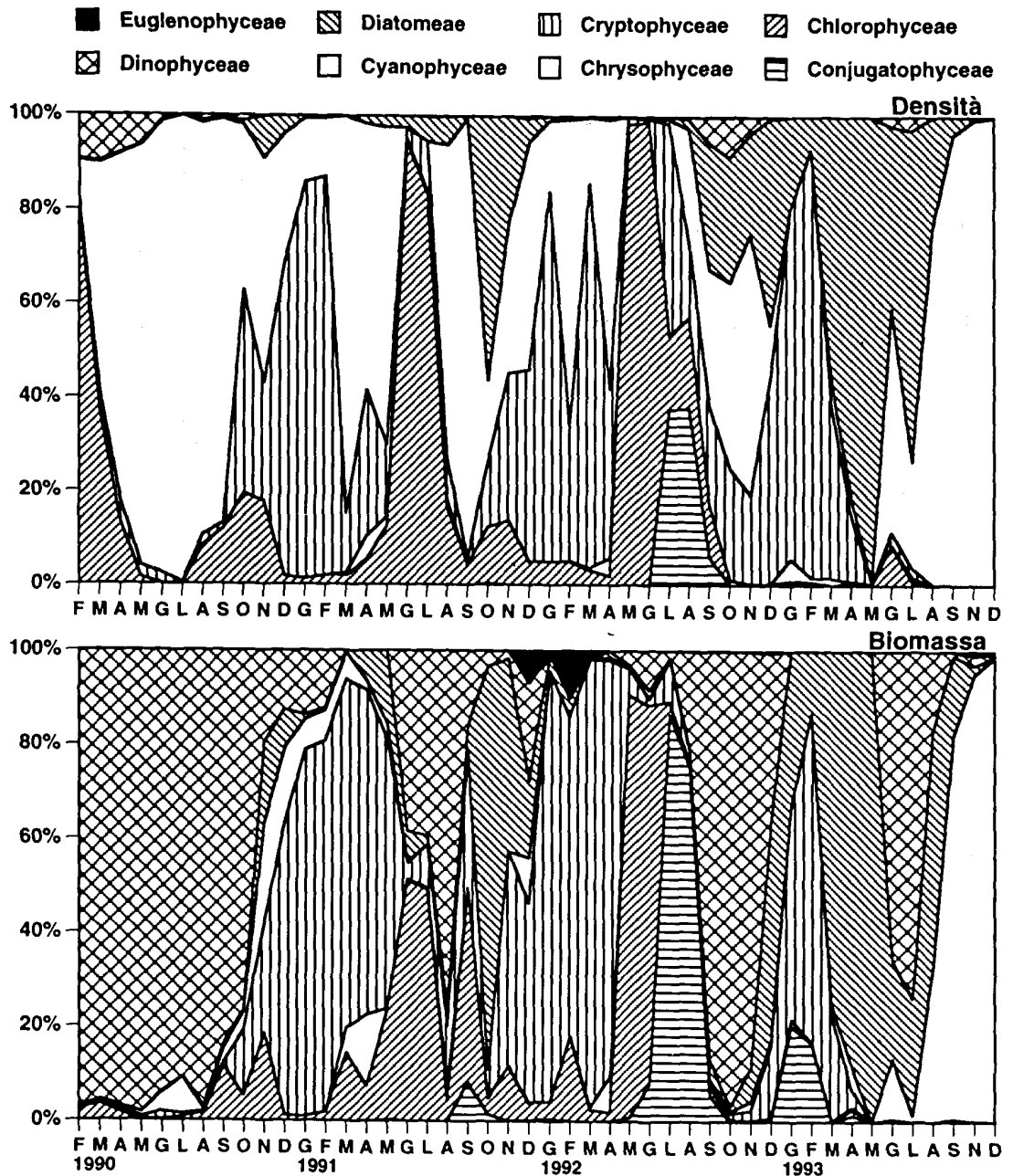


Fig. 3 - Composizione percentuale in base alle classi algali.

1993), le Chlorophyceae (con brevi ma significativi picchi, per lo più tra la primavera e l'estate, tranne che nel 1993), le Cryptophyceae (presenti con percentuali elevate in tutti i mesi più freddi, tranne che nel 1993) e le Diatomeae (con notevoli affermazioni nell'autunno del 1991 e del 1992, tra la primavera e l'estate nel 1993 e poco rilevanti nel 1990).

La composizione percentuale della biomassa fitoplanctonica in base alle classi più importanti ha invece indicato (Fig. 3), in tutti i cicli, una significativa presenza delle Dinophyceae (soprattutto per gran parte del 1990 e con picchi estivi od autunnale anche negli altri anni), delle Cryptophyceae (sempre nei mesi più freddi), delle Diatomeae (con le maggiori affermazioni nell'autunno del 1991, nell'inverno del 1992 e nella primavera del 1993) e delle Conjugatophyceae (in particolare nell'estate del 1992); sono risultate meno importanti rispetto a quanto riscontrato per la densità le Cyanophyceae (comunque costituenti oltre il 90% della biomassa totale durante l'autunno del 1993) e le Chlorophyceae (con le maggiori affermazioni solo nel 1991 e nel 1992). Infine altre due classi, le Euglenophyceae e le Chrysophyceae, hanno manifestato la loro presenza con percentuali sempre molto basse sia per la densità che per la biomassa e per brevi periodi dei diversi cicli annuali.

Il confronto della composizione in specie ha evidenziato differenze sia tra i due parametri che, per uno stesso parametro, nei diversi cicli. In questo contesto vengono riportati i risultati relativi alle sole specie più abbondanti. I singoli cicli sono stati caratterizzati dalle seguenti dinamiche (Fig. 4):

— nel 1990, sino al mese di maggio, accanto a valori di densità totale inferiori agli 8×10^6 cell. l^{-1} (dovuti per la più alla cianoficea *Aphanothece clathrata* W. et G.S. West e ad una modesta presenza della cloroficea *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs), sono stati osservati i massimi valori di biomassa totale dell'intera indagine (poco più di 12 mg l^{-1} come media mensile in aprile), dovuti pressoché esclusivamente alla dinoficea *Gymnodinium limneticum* Wol. (circa 11,7 mg l^{-1}); la flessione di questa specie in giugno ha corrisposto ad un ulteriore intenso sviluppo di *A. clathrata*, che ha portato al raggiungimento della massima densità totale dell'intera indagine (circa 89×10^6 cell. l^{-1} di *A. clathrata* su un valore di densità totale di circa 90×10^6 cell. l^{-1}). Tra luglio e settembre la densità totale, con valori leggermente superiori ai 5×10^6 cell. l^{-1} , è stata ancora dominata da *A. clathrata* mentre per la biomassa totale, i cui valori sono stati inferiori ai 3 mg l^{-1} , è stata determinante l'affermazione di un altro dinoflagellato, *Ceratium hirundinella* (O.F. MÜLLER) Schrank. Nei mesi successivi la presenza fitoplanctonica è stata molto scarsa (valori di densità inferiori a 1×10^6 cell. l^{-1} e di biomassa a 0,2 mg l^{-1});

- il 1991 ha preso avvio con una situazione totalmente differente da quella riscontrata nel ciclo precedente ed anche nei mesi successivi la dinamica è stata caratterizzata da uno sviluppo del fitoplancton nettamente inferiore (valori di densità totale per lo più inferiori ai 5×10^6 cell. l^{-1} e di biomassa totale ai $0,5$ mg l^{-1}), dominato da specie diverse: accanto ad una conferma primaverile di *A. clathrata*, la cui densità ha comunque superato di poco i 7×10^6 cell. l^{-1} , è stata rilevante la presenza, risultata pressoché costante anche nel periodo seguente, di più specie di criptoficee del genere *Rhodomonas*, con valori non superiori ai 2×10^6 cell. l^{-1} ed a $0,2$ mg l^{-1} . Nei mesi successivi si è assistito ad una rapida successione di più specie con la presenza, da giugno ad agosto, delle cloroficee *Ankyra lanceolata* (Kors.) Fott e *Sphaerocystis planctonica* (Kors.) Bourr., e, rilevante per la sola biomassa, *C. hirundinella*; da agosto a novembre, della cianoficea, *Aphanothece* sp., responsabile del massimo annuale di densità (a cui ha partecipato con circa 33×10^6 cell. l^{-1} su un valore totale di 36×10^6 cell. l^{-1}), e delle diatomee *Cyclotella stelligera* Cleve et Grun. e *Cyclotella ocellata* Pantocs. (riportate cumulativamente come *Cyclotella* spp. per le difficoltà nella loro distinzione durante i conteggi al microscopio), responsabili invece del massimo annuale di biomassa (2 mg l^{-1});
- i primi mesi del 1992 sono stati caratterizzati da bassi valori di densità e di biomassa; sono stati dominati ancora da *Rhodomonas* spp., da una modesta presenza di *Aphanothece* sp. e di *A. clathrata*. Da maggio è stato registrato un aumento nella presenza fitoplanctonica culminato in giugno, per lo sviluppo *S. planctonica* (con il raggiungimento del massimo annuale di densità, pari a 24×10^6 cell. l^{-1} su un massimo di densità totale corrispondente pari a poco più di 25×10^6 cell. l^{-1}); nei mesi successivi mentre la densità ha subito una rapida flessione e si è assestata su valori intorno ai 3×10^6 cell. l^{-1} , dovuti alla contemporanea presenza di numerose specie (tra cui le più abbondanti sono state *Rhodomonas* spp., *Oscillatoria rubescens* DC., la coniugatoficea *Staurastrum gracile* Ralfs., e le diatomee *Asterionella formosa* Hass. e *Cyclotella* spp.), la biomassa è ulteriormente aumentata prima per la comparsa di *S. gracile*, poi di *C. hirundinella*, che ha portato ai massimi valori annuali di biomassa ($5,6$ mg l^{-1} dovuti a questa specie su un massimo totale di $6,5$ mg l^{-1});

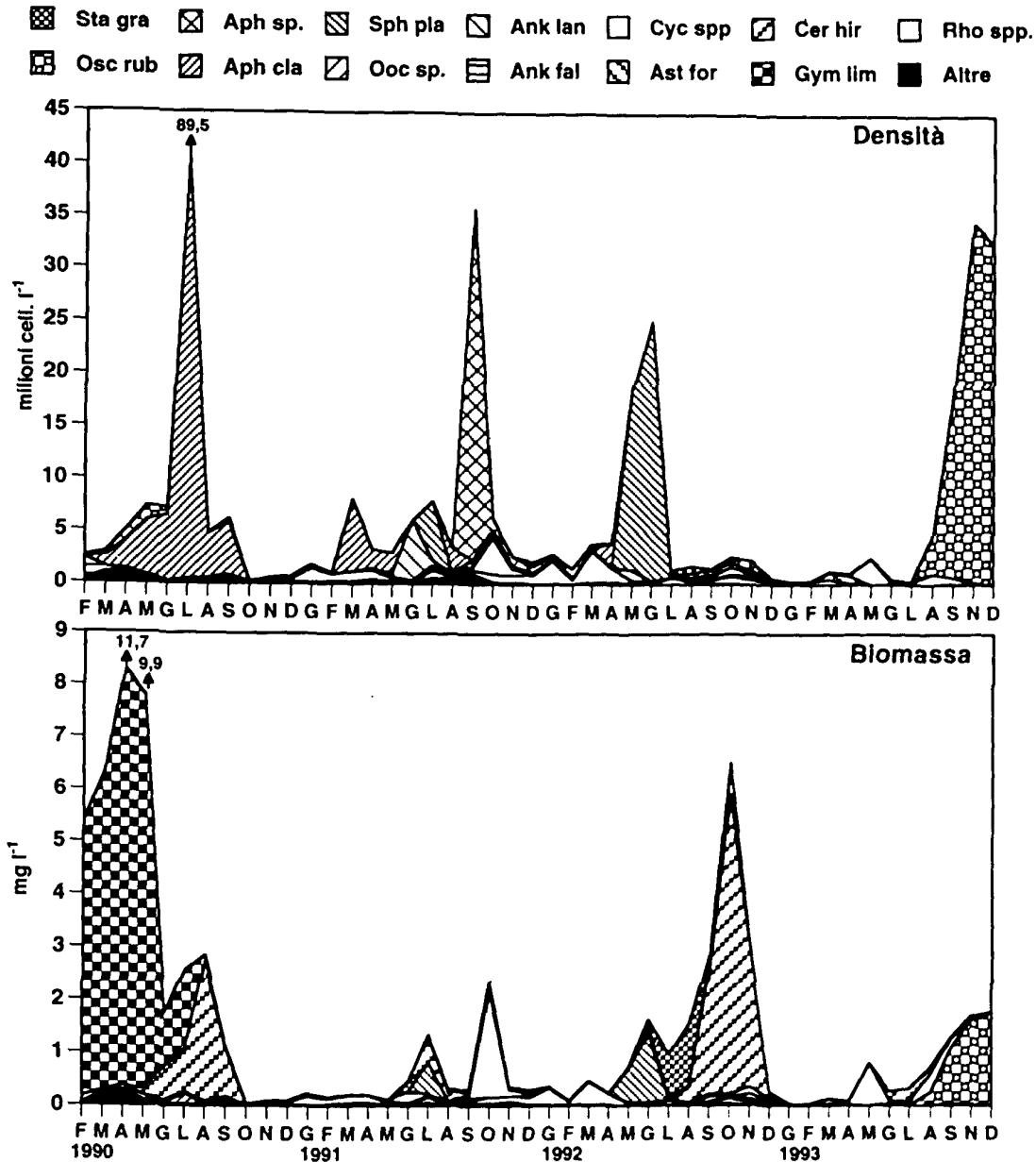


Fig. 4 - Dinamica della densità e della biomassa delle principali specie del fitoplancton.

— nel 1993 infine, lo sviluppo del fitoplancton è stato molto contenuto sino a luglio (massimo di $2,5 \times 10^6$ cell. l⁻¹ e di 0,8 mg l⁻¹) e dovuto per lo più a *Rhodomonas* spp. ed alle diatomee *A. formosa* e *Cyclotella* spp.; da luglio in poi, dopo una breve fase calante, durante la quale le specie più importanti sono state *C. hirundinella* e *Cyclotella* spp., i restanti mesi sono stati caratterizzati dallo sviluppo di *O. rubescens*, con il raggiungimento in autunno dei mas-

simi annuali sia di densità che di biomassa (rispettivamente 34×10^6 cell. l^{-1} e $1,8 \text{ mg } l^{-1}$).

Tab. 3 - Valori medi annuali dei principali parametri ambientali.

		0-5 m	7,5-15 m	20-30 m
Temperatura	°C			
1990		16,4	13,0	9,1
1991		14,5	11,3	8,1
1992		14,4	11,7	8,3
1993		13,2	10,5	7,4
Ossigeno	%			
1990		92	68	42
1991		87	74	58
1992		94	75	57
1993		92	88	66
Azoto nitrico	mg N m^{-3}			
1990		113	149	207
1991		335	384	429
1992		186	235	271
1993		246	268	327
Azoto ammoniacale	mg N m^{-3}			
1990		31	47	155
1991		28	26	54
1992		37	52	130
1993		19	19	91
Fosforo totale	mg P m^{-3}			
1990		23	22	34
1991		23	21	23
1992		20	20	35
1993		19	18	24

Alcuni fattori ambientali

- a) **Temperatura.** L'andamento della temperatura in tutti i cicli è stato tipico di un lago monomittico caldo (Fig. 5), con una netta stratificazione del lago tra la primavera e l'autunno ed una situazione di omeotermia e piena circolazione invernale; le temperature più basse (valore minimo di $4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ nel febbraio 1991) sono state sempre osservate tra dicembre e febbraio, quelle più alte tra la fine di luglio ed agosto (valore massimo di circa $25 \text{ }^\circ\text{C}$ nell'agosto 1992).
- b) **Ossigeno.** In tutti i cicli, per lo più nei mesi primaverili ed estivi, sono stati registrati valori di sovrassaturazione dell'ossigeno disciolto nelle acque superficiali (sino ad un massimo del 124% nel-

l'agosto 1992) e, alla fine della stratificazione, forti carenze in profondità (Fig. 5), con percentuali medie nell'ipolimnio inferiori anche al 10% (sino all'anossia nei campioni in prossimità del fondo nel 1990 e nel 1992).

d) Nutrienti. Tra i composti inorganici dell'azoto, i nitrati sono stati sempre preponderanti. In ogni ciclo annuale l'azoto nitrico ha manifestato decrementi epilimnici dalla fine della primavera all'autunno (sino a valori anche inferiori ai 10 mg N m^{-3} in tutti e quattro gli anni) ed incrementi tra la fine dell'autunno e l'inverno (Fig. 6); parallelamente nell'ipolimnio le concentrazioni sono rimaste elevate sino alla fine dell'estate ed una loro flessione è stata riscontrata solo in autunno. Le maggiori variazioni dell'azoto ammoniacale sono state riscontrate invece alla fine della stratificazione e durante la circolazione (Fig. 6); solo in questi periodi l'azoto ammoniacale ha costituito una percentuale elevata dei composti inorganici dell'azoto (concentrazioni superiori ai 350 mg N m^{-3} in tutti i cicli sino ad un massimo di oltre 500 mg N m^{-3} nel 1991). Il fosforo reattivo ha sempre rappresentato una piccola frazione della forma totale e solo nelle acque ipolimniche, alla fine della stratificazione, le sue concentrazioni sono state più alte (valore massimo raggiunto nei quattro anni pari a circa 30 mg P m^{-3} nell'ottobre 1990). Anche per il fosforo totale le maggiori concentrazioni (valore massimo registrato nei quattro anni pari a 66 mg P m^{-3} riscontrato nell'ottobre 1992) sono state osservate nell'ipolimnio nell'ultima fase dei periodi di stratificazione mentre normalmente i valori hanno oscillato intorno ai $20\text{-}25 \text{ mg P m}^{-3}$ (Fig. 6).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio effettuato sul L. A. Flumendosa ha evidenziato che l'andamento del fitoplancton è stato caratterizzato da notevoli variazioni sia su scala annuale che pluriennale, con differenze sia in termini quantitativi che nella composizione di specie. L'analisi della serie temporale ha consentito di evidenziare che, mentre nel 1991 e nel 1992 il fitoplancton si è sviluppato maggiormente nei mesi tardo-primaverili, estivi ed inizio-autunnali, nel 1990 è stato più abbondante tra l'inverno e l'estate e nel 1993 tra l'autunno e l'inverno. Sia nel 1990 che nel 1993 è apparso preponderante il ruolo di poche specie

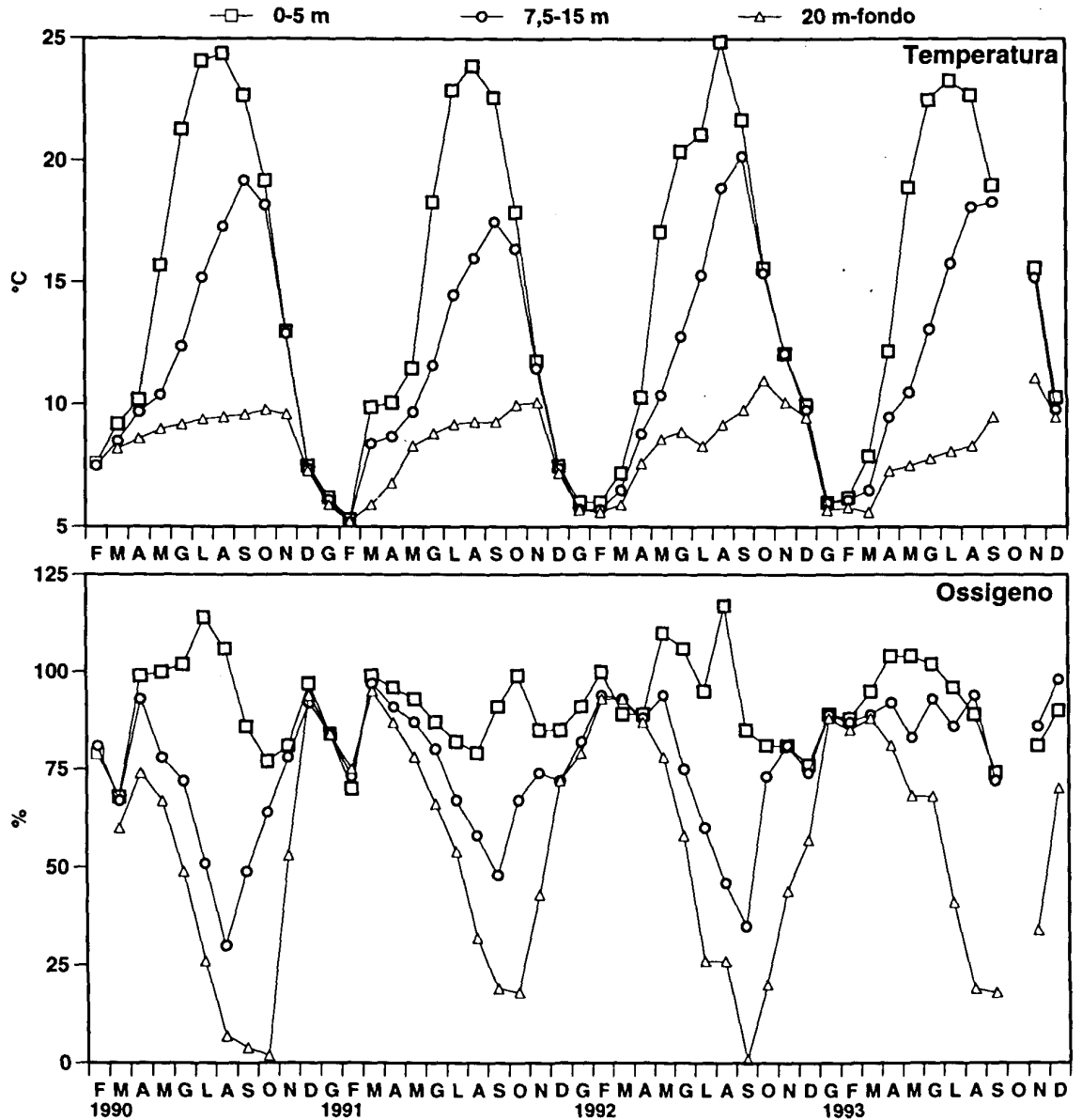


Fig. 5 - Dinamica della temperatura e dell'ossigeno disciolto.

(*G. limneticum* e *A. clathrata* nel primo e *O. rubescens* nel secondo) mentre negli altri cicli, sebbene i picchi siano stati comunque conseguenza dall'affermarsi di singole specie (rispettivamente *Aphanothece* sp. e *Cyclotella* spp. nel 1991 e *S. planctonica* e *C. hirundinella* nel 1992), la composizione del fitoplancton è stata più varia. Anche le differenze tra la dinamica della densità e quella della biomassa sono state per lo più riconducibili a variazioni nella composizione di specie nel corso dei singoli anni, con un andamento caratterizza-

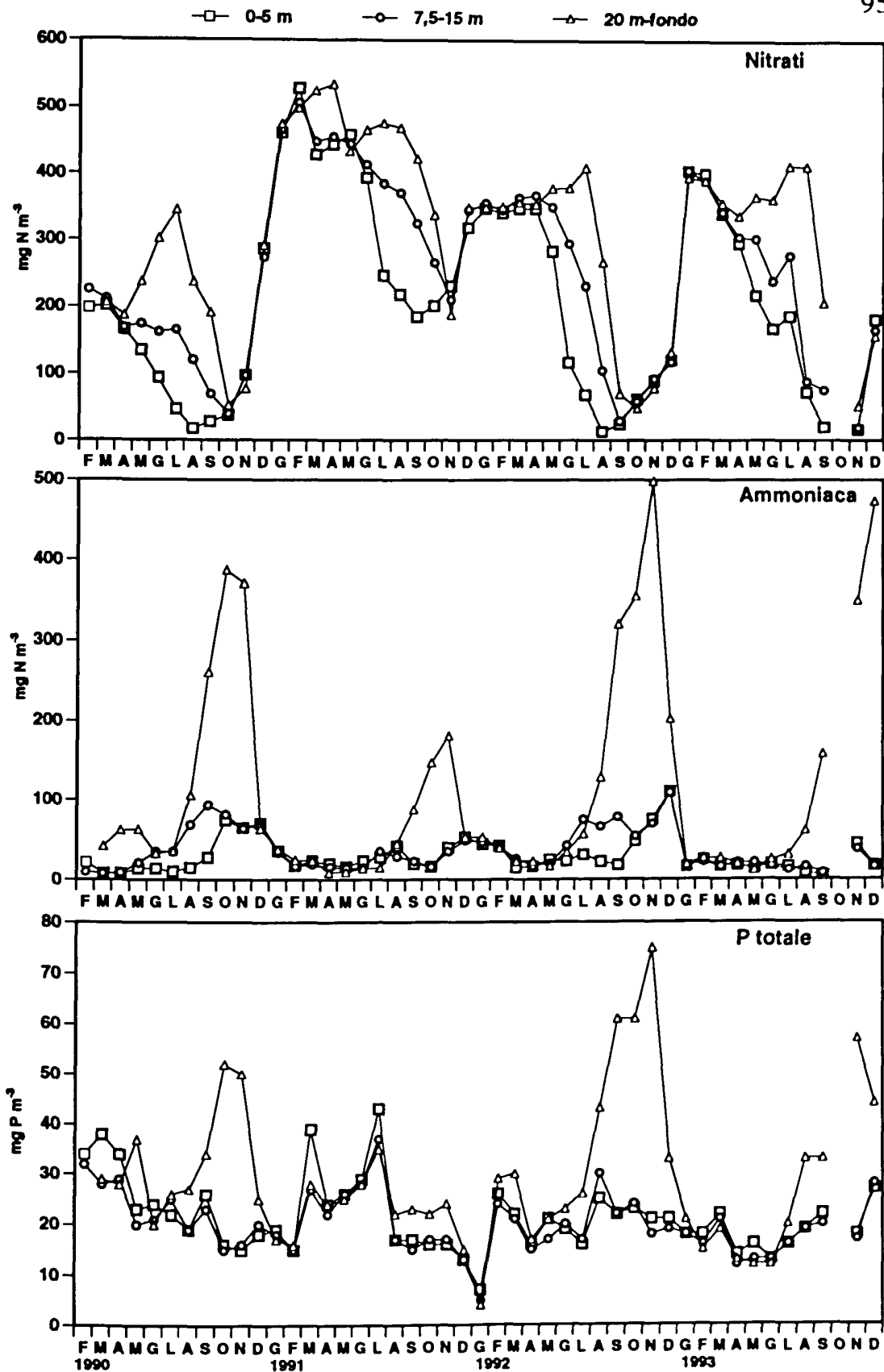


Fig. 6 - Dinamica dei principali nutrienti algali.

to dallo sfasamento dei picchi dei due parametri come conseguenza dello sviluppo di specie di grande taglia (responsabili dei picchi di biomassa) in periodi differenti rispetto a quelli che hanno favorito una maggiore affermazione di specie di piccola taglia (responsabili dei picchi di densità).

In termini generali quindi, il fitoplancton ha evidenziato, con il variare delle stagioni, il susseguirsi di differenti raggruppamenti di specie fitoplanctoniche, senza che però si sia ripetuto, nelle sequenze dei cicli annuali, un medesimo schema di successione algale. Comunque, in termini generali e a livello di classi è stato possibile individuare lo schema seguente:

- affermazione di Cryptophyceae nei mesi più freddi;
- affermazione primaverile e tardo primaverili di Chlorophyceae (mostranti a volte anche dei picchi autunnali);
- ampio sviluppo di Cyanophyceae e di Dinophyceae nei mesi estivi ed autunnali;
- sviluppo prevalentemente autunnale di Diatomeae;
- brevi inserimenti tra l'inverno e la primavera di Chrysophyceae e repentine affermazioni estive o invernali di Conjugatophyceae.

Questo schema di successione è stato abbastanza diverso da quello riscontrato in altri laghi mesotrofici della Sardegna. Per esempio nel Lago Medio Flumendosa (dati non pubblicati), nei mesi tra l'autunno e la primavera dell'anno successivo, non è raro riscontrare intense fioriture di Cyanophyceae (per lo più *O. rubescens*) mentre le Diatomeae mostrano frequentemente picchi primaverili superiori a quelli autunnali; nel Lago Sos Canales (LUGLIÈ *et al.*, 1996) le Dinophyceae possono predominare per gran parte del ciclo annuale, con inserimenti primaverili e tardo primaverili di Chlorophyceae e picchi sia primaverili che autunnali di Diatomeae.

Il confronto della successione riscontrata nel L. A. Flumendosa con quelle di altri laghi artificiali, localizzati in zone climatiche simili, è limitato dalla scarsa disponibilità di lavori scientifici; molti studi (HUTCHINSON, 1967; MUNAWAR e TALLING, 1986; REYNOLDS, 1984) sull'argomento infatti sono stati svolti su laghi naturali (e solo raramente artificiali) dell'Europa centrale ed occidentale, delle regioni tropicali e sub-tropicali e nei Grandi Laghi del Nord America. Comunque, con le cautele dovute al paragone tra la situazione osservata nel L. A. Flumendosa e quelle relative a dei laghi naturali di due distretti lacustri dell'ex USSR nord-occidentale (TRIFONOVA, 1988),

parrebbe che la situazione riscontrata si inserisca abbastanza bene nel modello di successione oligo-eutrofica identificata per quei laghi; l'andamento del fitoplancton del L. A. Flumendosa sembra corrispondere con quello dei laghi mesotrofici, per i quali Trifonova individua valori del fosforo totale intorno ai 30 mg P m^{-3} , trasparenza di circa 2 m, dominanza di Diatomeae e Dinophyceae (per lo più *C. hirundinella*), sviluppo significativo di Cyanophyceae, presenza di due picchi principali di biomassa (in maggio e tra settembre ed ottobre), con valori anche di 10 mg l^{-1} e biomassa media nel periodo di sviluppo tra 1,5 e $3,5 \text{ mg l}^{-1}$. In questo stadio della successione oligo-eutrofica del fitoplancton secondo Trifonova potrebbero comparire i primi cambiamenti connessi con l'eutrofizzazione per cui, in rapporto alle condizioni in ogni singolo anno, uno stesso lago può assumere caratteristiche più vicine alla mesotrofia o alla eutrofia. Questo sembra corrispondere con quanto si è rilevato nel L. A. Flumendosa: in termini quantitativi il 1990 è stato l'anno caratterizzato dal maggior sviluppo di fitoplancton, con valori medi annuali e picchi di clorofilla *a*, densità e biomassa decisamente più alti degli altri anni, i cui valori sono risultati, al contrario, abbastanza uniformi tra di loro. Le dinamiche annuali di sviluppo del fitoplancton sono state accompagnate da condizioni lacustri diverse. Per esempio, le concentrazioni annuali di nitrati sono state differenti, con una media nell'intera colonna d'acqua, nel 1991 (377 mg N m^{-3}) doppia rispetto a quella riscontrata nel 1990 (149 mg N m^{-3}) e con valori intermedi negli altri due anni (225 mg N m^{-3} nel 1992 e 276 mg N m^{-3} nel 1993). Le cause che possono aver portato a questa situazione sono diverse e non tutte facilmente identificabili: dai diversi livelli di consumo del fitoplancton ad una diversa durata del periodo di stratificazione (ritardo nella circolazione), alle differenze negli afflussi sia come quantità che come modalità (ingresso più o meno rapido nel lago). Per alcuni parametri, però, alcuni particolari aspetti delle loro dinamiche si sono ripetuti con una certa costanza: per l'ammoniaca, per esempio, nel periodo estivo (tra giugno ed agosto) alle profondità tra 7,5 e 10 m sono stati sempre riscontrati, tranne che nel 1993 (può non essersi verificato o i campionamenti potrebbero non averlo colto, visto che sono diventati mensili), dei valori nettamente più elevati che nelle profondità immediatamente adiacenti; a ciò hanno fatto riscontro, tranne che nel 1991 (in questo anno i valori di ammoniaca, pur aumentando, sono rimasti molto contenuti), delle sen-

sibili diminuzioni dell'ossigeno disciolto. È possibile che questo andamento sia stato determinato dal processo di decomposizione dei prodotti metabolici dei pesci o dei mangimi non utilizzati introdotti nel lago con l'attività di acquacoltura. Anche le marcate flessioni ipolimniche dell'ossigeno disciolto (e le conseguenze su tutte le altre variabili), alla fine della stratificazione in tutti i cicli, possono essere solo parzialmente giustificabili in base allo sviluppo del fitoplancton ma piuttosto porterebbero ad ipotizzare altre cause, compresa l'attività di acquacoltura come una nuova e significativa fonte di sostanza organica per il lago (SEMOV e KUNTCEVA, 1990). Il paragone, anno per anno, delle valutazioni di stato trofico (Tab. 4) effettuate secondo O.E.C.D. (1982), non ha però segnalato (ad eccezione che per la trasparenza che però, non risultando strettamente dipendente dal fitoplancton, non è utile a tale scopo) nessuna particolare variazione dello stesso, confermando il livello mesotrofico come quello più probabile. D'altra parte, il confronto con la situazione precedente all'installazione delle gabbie, riportata da SECHI e COSSU (1979) e SECHI (1983), è molto limitata dall'esiguità dei dati (alla circolazione e durante la stratificazione) che comunque avevano indicato una presenza preponderante alla circolazione di Diatomeae ed Euglenophyceae e durante la stratificazione di Diatomeae e Dinophyceae, con corrispondenti valori di biomassa totale e di clorofilla *a* molto bassi (rispettivamente 0,3 mg l⁻¹ e 3,6 mg m³ nel periodo invernale e 0,46 mg l⁻¹ e 1 mg m³ in estate).

Solo nel 1990 i valori della clorofilla *a*, sia come picco che come media annuale, hanno indicato una maggiore probabilità di stato eutrofico rispetto a quello mesotrofico. Queste discordanze, già emerse anche per altri laghi artificiali della Sardegna (MARCHETTI *et al.*, 1992; SECHI e LUGLIÈ, 1992), potrebbero dipendere, almeno in parte, dalla forte instabilità di questi in rapporto alle condizioni climatiche, all'idrologia ed alla gestione delle acque cui vengono sottoposti nei diversi anni, evidenziando, anche in questo caso, la necessità di studi pluriennali e non limitati a singoli cicli annuali.

In conclusione, il lago negli anni d'indagine ha presentato uno stato mesotrofico con aspetti che però permettono di ipotizzare che sia in corso uno spostamento verso l'eutrofia. Infatti, benché la strutturazione e l'abbondanza del fitoplancton abbiano deposto per la mesotrofia, la dinamica e le concentrazioni rilevate per alcuni parametri, quali l'ossigeno e l'ammoniaca ipolimnici, hanno testimoniato

Tab. 4 - Livelli probabilistici di stato trofico secondo O.C.D.E. (1982) nei singoli anni d'indagine.

	Ultraoligo	Oligo	Meso	Eutro	Iper
P totale					
1990	0,5	19	65	15	0,5
1991	1	26	62	11	—
1992	1	22	64	13	—
1993	2	24	57	7	—
Trasparenza					
1990	1	15	52	29	3
1991	1	19	54	24	2
1992	—	7	41	44	8
1993	—	4	32	51	13
Clorofilla a (media)					
1990	—	2	32	58	8
1991	8	54	36	2	—
1992	0,5	20	62	17	0,5
1993	2	28	59	11	—
Clorofilla a (picco)					
1990	—	—	21	56	23
1991	—	65	30	4	1
1992	—	4	65	25	6
1993	—	18	64	16	2

processi ossidativi rilevanti, la cui causa potrebbe però esser messa in relazione anche con fattori alloctoni.

RIASSUNTO

Viene riportata una parte dei risultati di uno studio limnologico svolto sul Lago Alto Flumendosa (Sardegna centrale) dal febbraio 1990 al febbraio 1993. L'andamento del fitoplancton è stato caratterizzato da notevoli variazioni sia su scala annuale che pluriennale, con differenze sia in termini quantitativi che nella composizione di specie. È stata confermata la mesotrofia del lago. Sono state riscontrate intense diminuzioni nelle percentuali di saturazione dell'ossigeno ipolimnico, molto probabilmente dovute all'attività di acquacoltura in gabbie galleggianti svolta nel lago. In termini generali è stato individuato, a livello di classi, uno schema di successione stagionale abbastanza diverso da quello riscontrato in altri laghi mesotrofici della Sardegna.

PAROLE CHIAVE: laghi artificiali, fitoplancton, stato trofico.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BOURRELLY P., 1970-1981 - *Les Algues d'eau douce. Initiation à la Systématique*. Tome I (1972, 1-562, II (1981, 1-517), III (1970, 1-512). Éditions N. Boubée. Paris.
 GERMAIN H., 1981 - *Flore des Diatomées. Diatomophycées*. Éditions N. Boubée. Paris: 1-444.

- HUBERT-PESTALOZZI G., 1938-1983 - *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie*. Teil 1 (1975, 1-342), 2 Hälfte 1 (1962, 1-365), 2 Hälfte 2 (1975, 1-549), 3 (1968, 1-322), 4 (1969, 1-1135), 5 (1974, 1-1059), 7 Hälfte 1 (1983, 1-1044), 8 Hälfte 1 (1982, 1-543). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Stuttgart.
- HUSTEDT F., 1930 - Bacillariophyta (Diatomeae). In: Pascher A. (ed.), *Süßwasser-Flora Mitteleuropas*. Heft 10. Reprint 1976. Otto Koeltz Publishers. Koenigstein: 1-466.
- HUSTEDT F., 1985 - *The Pennate Diatoms. A translation of Hustedt's «Die Kieselalgen, 2. Teil»*. Otto Koeltz Publishers. Koenigstein: 1-918.
- HUTCHINSON G.E., 1967 - *A treatise on limnology. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton*. John Wiley & Sons. New York - London - Sydney: 1-1115.
- LUGLIÈ A., MAMELI G., SECHI N., 1996 - Indagine limnologica pluriennale (dal 1991 al 1993) sul lago artificiale Sos Canales (Sardegna settentrionale). In: ALBERTELLI G., DE MAIO A., PICCAZZO M. (eds), *Atti XI Congr. A.I.O.L.*, Sorrento, 26-28 ottobre 1994: 479-489.
- MARCHETTI R., BARONE R., CALVO S., LUGLIÈ A., NASELLI FLORES L., SECHI N., 1992 - Studies on Italian reservoirs. In: P. GUILIZZONI, G. TARTARI, G. GIUSSANI (eds), *Limnology in Italy. Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, **50**: 337-363.
- MUNAWAR M., TALLING J.F., 1986 - *Seasonality of freshwater phytoplankton*. Dr W. Junk Publishers. Dordrecht: 1-236.
- O.C.D.E., 1982 - *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. OCDE. Paris: 1-154.
- REYNOLDS C.S., 1984 - *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press. Cambridge: 1-384.
- SECHI N., COSSU A., 1979 - Prime valutazioni sui livelli trofici di alcuni bacini artificiali della Sardegna. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, **37**: 259-276.
- SECHI N., LUGLIÈ A., 1992 - Limnological studies on man-made lakes in Sardinia (Italy). In: P. GUILIZZONI, TARTARI G., GIUSSANI G. (eds), *Limnology in Italy. Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, **50**: 365-381.
- SECHI N., 1983 - Il fitoplancton e lo stato trofico di alcuni laghi artificiali della Sardegna. In: R. FRACHE, DE STROBEL F. (eds), *Atti IV Congr. A.I.O.L.*, Chiavari, 1-3 Dicembre 1980: 1-11.
- SECHI N., 1989 - L'eutrofizzazione dei laghi artificiali della Sardegna. In: Provincia di Cagliari (ed), *Atti Conv. Intern. «La qualità dell'acqua in Sardegna. Eutrofizzazione: cause, conseguenze, rimedi»*, Cagliari, 15-16 Maggio 1986: 71-82.
- SEMOV V., KUNTICHEVA A., 1990 - Influence of cage rearing pisciculture on water quality and bottom sediments in artificial lakes. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, **33**: 875-879.
- TRIFONOVA I.S., 1988 - Oligotrophic-Eutrophic succession of lake phytoplankton. In: ROUND E.E. (ed.), *Algae and the aquatic environment*. Biopress. Bristol: 107-124.