

## Variabilità interannuale del fitoplancton del Lago di Tovel (Trentino, Italia)

Monica TOLOTTI\*, Dámaso CALLIARI & Flavio CORRADINI

Dipartimento Valorizzazione Risorse Naturali, Istituto Agrario di San Michele all'Adige, Via Mach 1, I-38010 San Michele all'Adige (TN)

\*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: [monica.tolotti@iasma.it](mailto:monica.tolotti@iasma.it)

**RIASSUNTO** - *Variabilità interannuale del fitoplancton del Lago di Tovel (Trentino, Italia)* - Lo studio del fitoplancton del Lago di Tovel nel periodo 2002-2004 ha avuto come principali obiettivi l'analisi della variabilità interannuale delle dinamiche stagionali nel Bacino Principale e nella Baia Rossa, il confronto tra le associazioni fitoplanctoniche attuali e passate (prima e dopo la scomparsa del fenomeno dell'arrossamento) e l'analisi critica delle particolarità biologiche ed ecologiche della Baia Rossa rispetto al bacino principale. Lo sviluppo stagionale della comunità fitoplanctonica risulta relativamente stabile anche se suscettibile all'influenza delle dinamiche idrologiche del lago connesse agli eventi meteorologici locali. La maggiore variabilità interannuale è stata osservata a livello di durata delle fasi di crescita fitoplanctonica e di dominanza interspecifica. La composizione in specie attuale risulta in sostanziale equilibrio con quella documentata nel passato, soprattutto per quel che riguarda i taxa dominanti, se si esclude la diminuzione nell'abbondanza di *Tovellia sanguinea* sp. inedit. La Baia Rossa presenta un livello trofico maggiore (mesotrofico) e una variabilità fitoplanctonica interannuale più pronunciata rispetto al bacino principale. Nonostante la composizione specifica dei due bacini sia pressoché identica, le condizioni ambientali della Baia Rossa favoriscono la dominanza delle dinoflagellate e di altre alghe flagellate, che nel bacino principale risultano sempre meno abbondanti delle diatomee.

**SUMMARY** - *Interannual variability of phytoplankton in Lake Tovel (Trentino, Italy)* - The main objectives of the study of phytoplankton in Lake Tovel from 2002 to 2004 were the analysis of the inter-annual variability of phytoplankton dynamics in both the Main Basin and in the Red Bay, the comparison between the present and the past (during and after the water reddening) and the critical analysis of the biological and ecological peculiarities of the Red Bay in comparison to the main basin. The seasonal development of the phytoplankton community results to be relatively stable and mainly affected by the lake hydrology, in relation to the local weather conditions. The highest variability regards timing and duration of the growth stages and the alternative dominance of different taxa. The present species composition results to be comparable with the past one, especially regarding the dominant taxa, with the strongly reduced abundances of *Tovellia sanguinea* sp. inedit. as a sole exception. The Red Bay shows a higher trophic level (mesotrophic) and its phytoplankton community shows higher inter-annual variability in comparison to the main lake basin. Although the species composition of the two lakes basins almost coincides, the environmental conditions of the Red Bay promote the dominance of dinoflagellates and other flagellated algae, which always remained less abundant than diatoms in the main lake basin.

*Parole chiave:* Lago di Tovel, fitoplancton, variabilità stagionale, variabilità interannuale, dinoflagellate, diatomee  
*Key words:* Lake Tovel, phytoplankton, seasonal variability, inter-annual variability, dinoflagellates, diatoms

### 1. INTRODUZIONE

Il Lago di Tovel (1177 m s.l.m.) è un piccolo lago alpino costituito da un bacino principale ( $z_{\max} = 39$  m) e da uno più piccolo e meno profondo ( $z_{\max} = \text{ca. } 4,5$  m) posto all'estremità SO del lago. Il lago, incluso nel Parco Regionale Adamello-Brenta (Dolomiti di Brenta, Alpi Centrali italiane), divenne famoso già dall'inizio del XIX secolo a causa del particolarissi-

mo fenomeno di arrossamento delle sue acque dovuto alla fioritura dell'alga dinoflagellata *Glenodinium sanguineum* Marchesoni, ora chiamata *Tovellia sanguinea* sp. inedit. (Moestrup *et al.* 2006). Il fenomeno interessò il piccolo bacino SO del lago, per questo chiamato anche Baia Rossa, nelle ore centrali delle calde e tranquille giornate estive tra luglio e settembre (Baldi 1941; Marchesoni 1959) fino al 1964, dopodiché si interruppe improvvisamente.

La brusca e pressoché completa scomparsa del fenomeno ha rappresentato lo spunto per numerose ricerche scientifiche finalizzate a comprendere l'origine e la dinamica delle fioriture (es. Gerosa 1970; Arrighetti & Siligardi 1977, 1979; Dodge *et al.* 1987; Paganelli 1992; Cantonati *et al.* 2003). Gli studi più recenti sono stati condotti nell'ambito del progetto internazionale SALTO/BEST (Studio sul mancato Arrossamento del Lago di Tovel/Blooms & Environment Science for Tovel, 2001-2004) che, grazie a un approccio multidisciplinare, ha permesso il miglioramento delle conoscenze riguardanti sia gli aspetti morfologici (Kulbe *et al.* 2005), idrologici (per esempio Borsato & Ferretti 2006) e fisico-chimici (Corradini & Boscaini 2006) del lago e del suo bacino idrografico, sia quelli ecologici (Flaim *et al.* 2003, 2004, 2005, 2006; Angeli & Cantonati 2005; Corradini *et al.* 2005; Obertegger 2005, 2006; Tolotti *et al.* 2005).

Durante i tre anni di lavoro del progetto SALTO è stata raccolta una notevole quantità di informazioni sulla comunità fitoplanctonica del Lago di Tovel. Tuttavia, il presente contributo, in accordo con uno dei principali obiettivi del progetto stesso, vuol porre particolare attenzione su alcuni aspetti cruciali per la comprensione dell'ecologia del fitoplancton nel Lago di Tovel: i) la successione stagionale e la variabilità interannuale di abbondanza e composizione specifica del fitoplancton sia nel Bacino Principale sia nella Baia Rossa; ii) il confronto tra le associazioni fitoplanctoniche presenti e quelle registrate nel passato (prima e dopo la scomparsa del fenomeno dell'arrossamento); iii) la particolarità delle dinamiche fitoplanctoniche nella Baia Rossa rispetto al bacino principale del lago.

## 2. AREA DI STUDIO

Il Lago di Tovel (superficie totale = 0,38 km<sup>2</sup>) è un lago alpino temperato di origine glaciale (Oetheimer 1992). La natura pseudo-carsica dell'ampio bacino idrografico (ca. 41 km<sup>2</sup>), composto da calcari e dolomie (Borsato & Ferretti 2006), è responsabile della presenza di immissari ed emissari sotterranei. Il clima della Val di Tovel può essere definito come temperato fresco di tipo alpino, continentale umido, con precipitazioni annue medie di circa 1250 mm (Eccel & Toller 2006). La combinazione di geomorfologia e distribuzione delle precipitazioni atmosferiche è responsabile della vivace idrologia del lago, caratterizzata da significative variazioni di livello e da un tempo di ricambio variabile e breve (Paganelli 1992; Corradini *et al.* 2001). Il livello del lago cala notevolmente al di sotto del livello di sfioro (1177 m) durante l'inverno e nella tarda estate in relazione alle ridotte precipitazioni, mentre in corrispondenza del disgelo, all'inizio dell'estate, e in autunno si osservano i valori di massimo invaso.

Il Lago di Tovel può essere definito dimittico oligomittico, in quanto la circolazione termica primaverile è spesso molto breve e incompleta, come osservato nel 2003 e nel 2004 (Corradini & Boscaini 2006). A causa del veloce tempo di ricambio, il lago non sviluppa un epilimnio stabile, ma presenta un pronunciato gradiente di temperatura fino a circa 5 m di profondità, oltre i quali la temperatura dell'acqua decresce lentamente fino a circa 20 m di profondità. La Baia Rossa, al contrario, nonostante la profondità ridotta ( $z_{\max} = 4,5$  m), mostra una forte stratificazione termica estiva dovuta all'afflusso delle numerose sorgenti perilacuali, che mantengono la temperatura degli strati profondi a circa 5 °C (Corradini *et al. loc. cit.*).

Il Lago di Tovel è un lago oligotrofico caratterizzato da concentrazioni di fosforo totale prossime al limite di rilevabilità (2 µg l<sup>-1</sup>), da quantità relativamente elevate di N-NO<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> e da elevata trasparenza dell'acqua (Paganelli 1992; Corradini *et al.* 2001). Il fosforo mostra una scarsa variabilità stagionale, mentre le variazioni di N-NO<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> sono relativamente pronunciate, in relazione alle dinamiche idrologiche e biologiche (Corradini *et al.* 2001; Tolotti *et al.* 2005). La trasparenza media (ca. 10 m, Corradini *et al.* 2001, 2006) permette di stimare l'estensione della zona eufotica fino a circa 25 m di profondità (Vollenweider 1974).

## 3. METODI

La stazione meteorologica dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige posizionata sulla riva del lago ha fornito i dati sulle precipitazioni atmosferiche giornaliere. I metodi per la raccolta dei dati idrologici sono descritti in Borsato & Ferretti (2006).

Nel bacino principale del lago (punto di campionamento A, Fig. 1) i campioni d'acqua per le analisi chimiche e la determinazione della biomassa fitoplanctonica sono stati raccolti con una bottiglia di Ruttner da profondità fisse della zona eufotica (0,5-2-5-10-15-20 e 25 m). I campionamenti sono stati eseguiti almeno una volta durante il periodo invernale e ogni due-tre settimane durante il periodo libero dai ghiacci (maggio-novembre). A causa delle pronunciate variazioni di livello, la Baia Rossa (punto B, Fig. 1) è stata campionata ogni due-tre settimane a diverse profondità (0,5-2 e 0,5 m sopra il fondo) da maggio a novembre. Le analisi chimiche (alcalinità, bilancio ionico, macronutrienti) sono state eseguite secondo metodi standard (Corradini & Boscaini 2006). I campioni per l'analisi del fitoplancton sono stati fissati subito dopo il prelievo con soluzione di Lugol acidificata e contati al microscopio invertito secondo Uthermöhl (1958). Il biovolume dei singoli taxa è stato calcolato approssimando la forma cellulare a semplici solidi geometrici (Rott 1981). La classificazione trofica del Lago di Tovel è stata eseguita

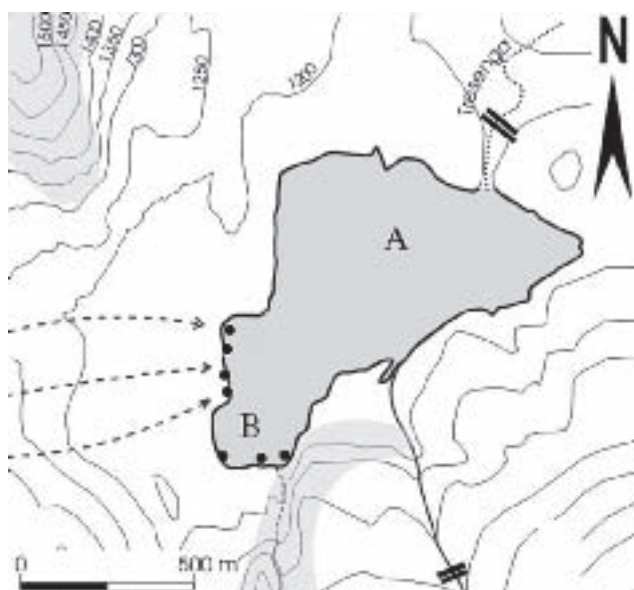


Fig. 1 - Mappa del Lago di Tovel. A= punto di campionamento nel Bacino Principale; B= punto di campionamento nella Baia Rossa. Le linee tratteggiate e le doppie barre indicano gli immissari sotterranei, i punti neri lo sbocco delle sorgenti perilacuali.

Fig. 1 - Map of Lake Tovel. A= sampling station in the Main Basin; B= sampling station in the Red Bay. Dotted lines and double bars indicate the submerged inlets, black dots the periglacial springs.

combinando il metodo OECD (basato sui valori medi annuali di trasparenza e fosforo totale, OECD 1982) con il sistema basato sul biovolume fitoplanctonico medio annuale proposto da Rott (1984) per laghi di piccole dimensioni dell'arco alpino.

Le relazioni tra le abbondanze dei diversi taxa fitoplanctonici sono state testate calcolando il coefficiente di correlazione di Spearman.

#### 4. RISULTATI

##### 4.1. Idrologia e chimica delle acque

Il periodo del progetto SALTO (2002-2004) è stato caratterizzato da condizioni idrologiche estreme, dovute a condizioni meteorologiche variabili e anomale (Eccel & Toller 2006; Eccel 2006). L'anno 2002 ha visto un inverno molto secco e un'estate particolarmente piovosa (Fig. 2a) che ha mantenuto il livello del lago al di sopra della quota di sfioro (1177 m s.l.m.) per tutto il periodo libero dai ghiacci (Fig. 2b). Al contrario, il 2003 è stato caratterizzato da precipitazioni invernali normali, mentre la primavera molto secca e l'estate eccezionalmente calda hanno provocato un pronunciato e progressivo calo del livello del lago da

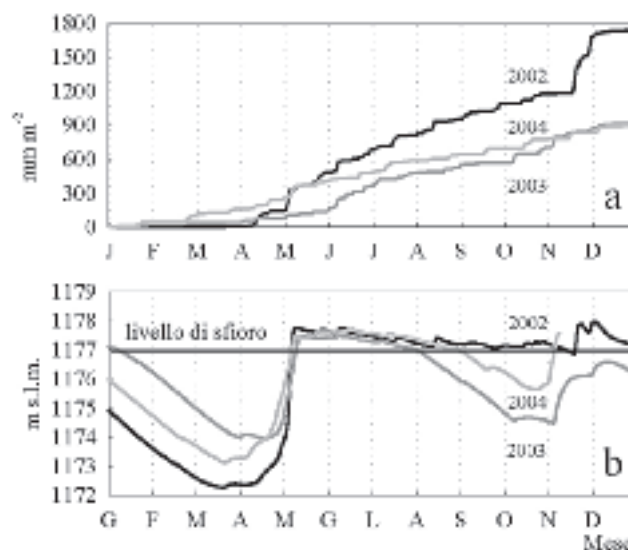


Fig. 2 - Precipitazioni giornaliere cumulate (a) e livello del Lago di Tovel (b) nel periodo 2002-2004. Modificato e integrato da Ferretti & Borsato (2004).

Fig. 2 - Daily cumulated precipitations (plot a) and water level of Lake Tovel (plot b) in the period 2002-2004. Modified and integrated from Ferretti & Borsato (2004).

agosto a ottobre. Nell'annata successiva, le abbondanti nevicate alla fine dell'inverno 2004 hanno impedito un calo di livello estivo così evidente, nonostante l'estate sia stata particolarmente secca.

Le caratteristiche chimiche del lago non hanno mostrato particolare variabilità nel corso del progetto SALTO, con l'unica eccezione della silice reattiva (SiO<sub>2</sub>), che ha mostrato notevoli variazioni sia stagionali sia interannuali, con concentrazioni minori di 0,1 mg l<sup>-1</sup> nell'estate 2003 sia nel punto A sia in B (Corradini & Boscaini 2006). Le concentrazioni medie di azoto nitrico si sono attestate tra i 300 e i 450 µg l<sup>-1</sup> per tutto il periodo di studio, con valori medi leggermente più bassi solo nell'estate 2003 (ca. 380 µg l<sup>-1</sup> nel punto B e 350 µg l<sup>-1</sup> in A (Corradini & Boscaini *op. cit.*), mentre le concentrazioni medie di fosforo reattivo e totale sono rimaste sempre al di sotto di 2 e 5 µg l<sup>-1</sup>, rispettivamente, confermando lo stato oligotrofico del lago (Tab. 1). La Baia Rossa ha mostrato concentrazioni di silice leggermente minori e di azoto nitrico maggiori rispetto al bacino principale.

##### 4.2. Fitoplancton: abbondanza e composizione specifica

Nel bacino principale il biovolume fitoplanctonico ha presentato tipicamente valori minimi autunnali e invernali, e due picchi estivi separati tra loro da una diminuzione piuttosto brusca (Fig. 3). Le tre annate di studio si sono differenziate, tuttavia, per il periodo in

Tab. 1 - Classificazione trofica del Lago di Tovel (2002-2004) basata su concentrazione di fosforo totale e trasparenza al disco di Secchi (OECD 1982) e biovolume fitoplanctonico totale (Rott 1984). Le medie stagionali si riferiscono al periodo maggio-ottobre.

Tab. 1 - Trophic classification of Lake Tovel (2002-2004) according to total phosphorus concentration and Secchi depth (OECD 1982) and phytoplankton biovolume (Rott 1984). Seasonal means refer to the period May-October.

		2002	2003	2004	Classe trofica
TP ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	A media annuale 0-25 m	4	3	4	oligotrofico
	A media stagionale 0-25 m	4	3	4	oligotrofico
	A media stagionale 0-5 m	4	3	3	oligotrofico
	B media stagionale (0-4,5 m)	4	5	5	oligotrofico
Trasparenza (Secchi) (m)	A media annuale	11,7	11,9	10,8	oligotrofico
	A minimo annuale	3,4	7,1	7,8	oligotrofico
	B sempre fino al fondo	----	----	----	----
Biovolume totale fitoplancton ( $\text{mm}^3 \text{m}^{-3}$ )	A media annuale (0-25 m)	604	465	792	(oligo)-mesotrofico
	A media stagionale (0-25 m)	637	488	877	(oligo)-mesotrofico
	A media stagionale (0-5 m)	419	379	696	oligo-(meso)trofico
	B media stagionale (0-4,5 m)	738	598	801	mesotrofico

cui si è verificato il primo massimo di sviluppo (aprile nel 2002, giugno nel 2003 e inizio luglio nel 2004), oltre che per la sua durata e intensità. Il secondo massimo di biovolume si è verificato più regolarmente tra agosto e settembre e nel 2002 è stato maggiore del primo.

I biovolumi medi registrati nella Baia Rossa hanno presentato un andamento più variabile e irregolare, nonostante la tendenza a formare due massimi estivi. Per esempio, nel 2002 il primo picco stagionale si è verificato due mesi più tardi rispetto al punto A e il secondo picco è risultato assente nel 2003, mentre nel 2004 l'andamento stagionale nei due punti di campionamento è risultato quasi sovrapposto. I valori minimi registrati nella Baia Rossa sono stati simili a quelli del

punto A e stabili nei diversi anni, mentre i biovolumi medi massimi sono risultati sempre maggiori. I biovolumi massimi assoluti sono stati registrati nel 2004, i minimi nel 2003, sia nella Baia Rossa sia nel Bacino Principale.

I biovolumi fitoplanctonici medi hanno permesso la classificazione trofica dei due bacini del Lago di Tovel secondo il metodo di Rott (1984) (Tab. 1). A causa delle variazioni inter-annuali dei valori medi annuali nel punto A, la classificazione suggerisce un livello trofico intermedio tra l'oligotrofia ( $<500 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$  nel 2003) e la mesotrofia (tra 501 e  $2000 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$  nel 2002 e 2004). Un quadro del tutto simile si ottiene considerando i biovolumi medi relativi al solo periodo

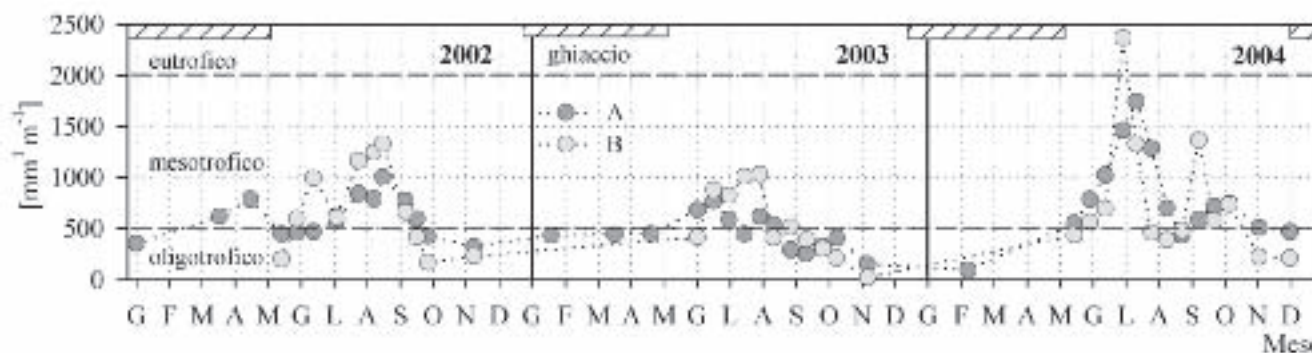


Fig. 3 - Biovolume fitoplanctonico medio totale determinato nei punti di campionamento A (zona eufotica) e B nel periodo 2002-2004.

Fig. 3 - Mean total phytoplankton biovolume of the sampling sites A (euphotic zone) and B for the period 2002-2004.



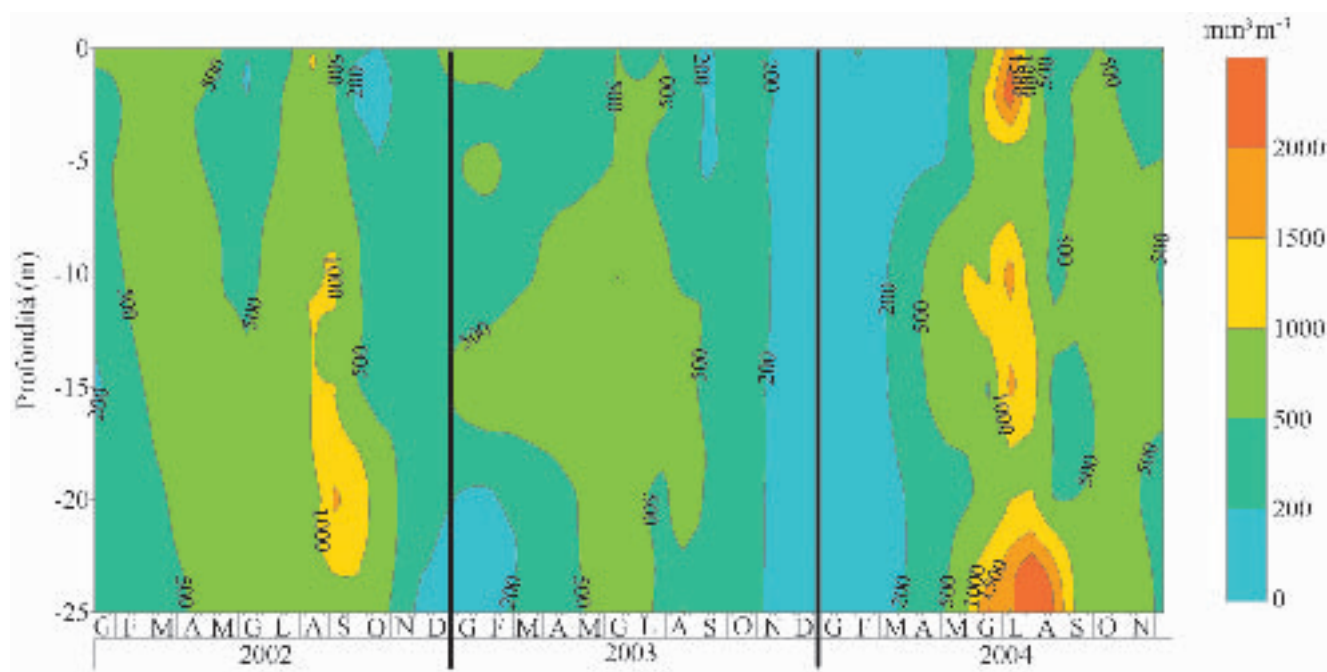


Fig. 4 - Biovolume fitoplanctonico totale nella zona eufotica del Bacino Principale (punto di prelievo A) durante il periodo di studio (2002-2004).

Fig. 4 - Total phytoplankton biovolume in the euphotic zone of the Main Basin (sampling site A) during the investigation period (2002-2004).

vegetativo (maggio-ottobre). La Baia Rossa, con valori medi stagionali sempre maggiori di  $500 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$ , è classificata come mesotrofica. Al fine di confrontare la Baia Rossa con il bacino principale del lago, per il punto A sono state calcolate anche le medie stagionali utilizzando soltanto i valori determinati nei primi 5 m di profondità. In questo caso la differenza tra il punto A e il punto B risulta ancora più evidente, dato che il punto A raggiunge un livello di mesotrofia solo nel 2004 (Tab. 1). È importante qui notare che sia le concentrazioni di fosforo totale sia le trasparenze misurate con il disco di Secchi hanno indicato uno stato chiaramente oligotrofico di entrambi i bacini del lago per tutto il periodo d'indagine.

La distribuzione verticale del fitoplancton rivela in maggior dettaglio il complesso sviluppo stagionale e la variabilità inter-annuale del fitoplancton del Lago di Tovel nei punti A (Fig. 4) e B (Fig. 5). Sia nel 2002 che nel 2003 lo sviluppo fitoplanctonico nel bacino principale del lago è iniziato già alla fine dell'inverno, al di sotto della copertura di ghiaccio, contribuendo alla formazione di un primo massimo stagionale, particolarmente precoce nel 2002. La crescita invernale è stata molto più ridotta nell'inverno 2003-04, mentre i valori di biovolume fitoplanctonico totale sono rimasti al di sotto dei  $200 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$  tra l'autunno 2003 e marzo 2004, quando la crescita algale è iniziata in modo intenso e veloce lungo l'intera zona eufotica, portando a valori particolarmente elevati all'inizio di luglio negli strati

d'acqua più superficiali e tra luglio e agosto al limite inferiore della zona eufotica. La figura 4 mette in evidenza, inoltre, la diversa ampiezza e durata dei periodi di massimo sviluppo algale nel 2002 e 2004, mostrando come i valori massimi assoluti (relativamente elevati per un lago oligotrofico) tendano a posizionarsi tra i 10 m di profondità e il limite inferiore della zona eufotica. Il 2003 rappresenta un'eccezione sia per i biovolumi ridotti, mai superiori ai  $500 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$ , sia per l'assenza del secondo picco estivo.

I biovolumi fitoplanctonici determinati per il punto di campionamento B (Fig. 5) confermano come la Baia Rossa, oltre a essere caratterizzata da biovolumi massimi più elevati, presenti un andamento stagionale parzialmente sfasato e una variabilità inter-annuale più pronunciata rispetto al Bacino Principale. La fase di crescita algale è risultata più prolungata nel 2002 e nel 2004, mentre la diminuzione del livello del lago nell'estate 2003 è stata seguita da una evidente diminuzione dei biovolumi fitoplanctonici. Nella Baia Rossa il fitoplancton sembra evitare gli strati d'acqua più profondi e freddi, tranne che nel 2004 quando entrambi i massimi stagionali di oltre  $2000 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$  erano posizionati in prossimità del fondo.

La distribuzione temporale delle abbondanze medie dei principali gruppi algali (Fig. 6) permette di individuare i gruppi responsabili dei diversi picchi stagionali di biovolume fitoplanctonico totale osservati nel periodo 2002-2004. Nel 2002 il primo picco

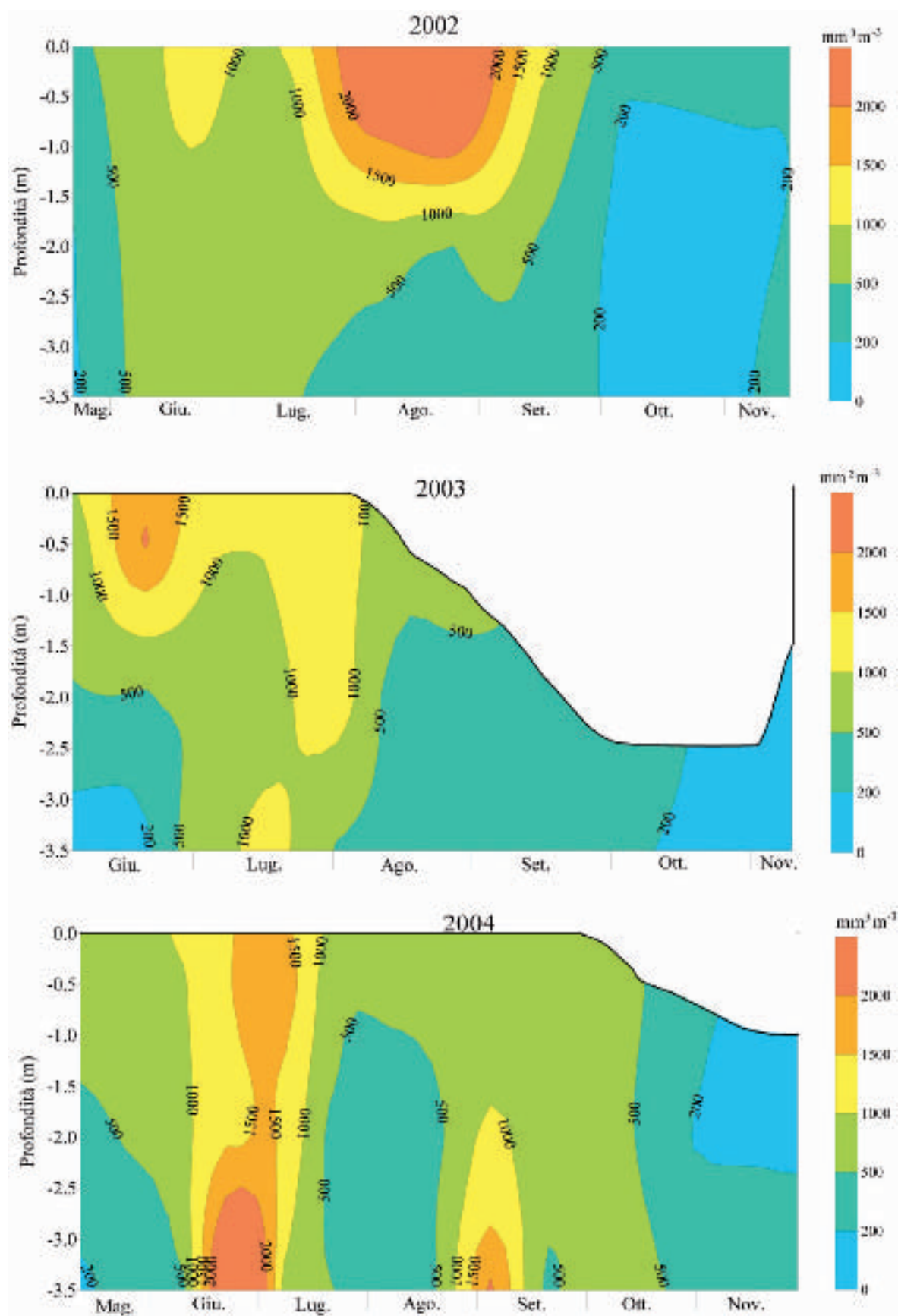


Fig. 5 - Biovolume fitoplanctonico totale determinato nella Baia Rossa (punto di prelievo B) durante il periodo estivo 2002-2004.

Fig. 5 - Total phytoplankton biovolume of the Red Bay (sampling site B) during the summer period of the years 2002-2004.

stagionale è stato prodotto nel Bacino Principale del lago dallo sviluppo precoce di diversi taxa di dinoflagellati (es. *Peridinium* spp. Ehrenberg, *Gymnodinium uberrimum* (Allman) Kofoid & Swezy, *Gymnodinium* spp. Stein, *Glenodinium sanguineum sensu* Dodge (1987)) e di diatomee (principalmente *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt), il secondo dal forte incremento delle sole diatomee (*Fragilaria tenera* (W. Smith) Lange-Bertalot). Nel 2004 le diatomee hanno prodotto entrambi i picchi stagionali, accompagnate nei mesi estivi da *Dinobryon sociale* var. *americana* (Brunthaler) Bachmann (Chrysophyceae, Tab. 2), responsabile degli elevati biovolumi al di sotto dei 20 m di profondità (ca. 3700 mm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, Fig. 4). Durante l'intero periodo di studio le Chrysophyceae hanno costi-

tuito il gruppo caratterizzato dalla maggiore ricchezza in specie (N= 14, Tab. 2), anche se solo *Dinobryon sociale* var. *americana* e *Mallomonas tonsurata* var. *alpina* (Pascher & Ruttner) Krieger sono risultati abbondanti. Nel 2003 nessun gruppo algale è risultato nettamente dominante sugli altri e i poco pronunciati picchi stagionali sono stati prodotti dalla combinazione di diatomee, dinoflagellate e Chrysophyceae.

Nonostante la composizione specifica complessiva del Bacino Principale e della Baia Rossa siano rimaste perfettamente identiche durante il periodo di studio, la figura 6 evidenzia l'esistenza di importanti differenze a livello di gruppi fitoplanctonici dominanti. Infatti, mentre nel bacino principale le diatomee – alternativamente *Cyclotella pseudostelligera*, *C. cyclopuncta* Håkasson

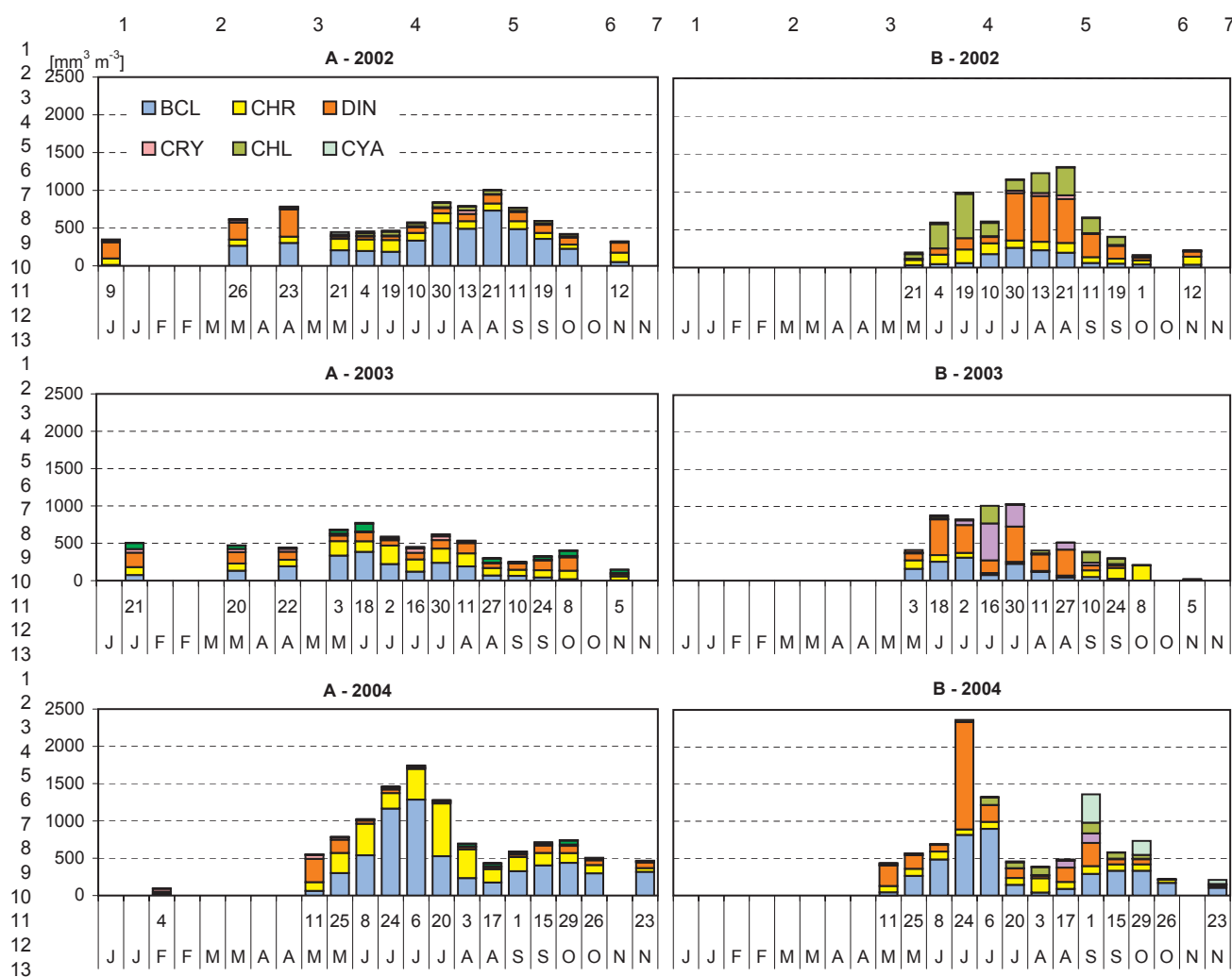


Fig. 6 - Biovolume medio dei principali gruppi fitoplanctonici nel Bacino Principale (punto A, 0-25 m) e nella Baia Rossa (punto B, 0-4,5 m) durante il periodo 2002-2004. BCL= Bacillariophyceae; CHR= Chrysophyceae; DIN= Dinophyceae; CRY= Cryptophyceae; CHL= Chlorophyceae sensu lato; CYA= Cyanophyceae.

Fig. 6 - Mean biovolume of the principal phytoplankton groups in the Main Basin (sampling point A, 0-25 m) and in the Red Bay (sampling point B, 0-4,5 m) during the period 2002-2004. BCL= Bacillariophyceae; CHR= Chrysophyceae; DIN= Dinophyceae; CRY= Cryptophyceae; CHL= Chlorophyceae sensu lato; CYA= Cyanophyceae.

Tab. 2 - Lista delle specie più frequenti identificate nel Lago di Tovel nel periodo d'indagine 2002-2004, con indicazione della frequenza e della preferenza stagionale; r = raro, p = presente, f = frequente, d = dominante, I = inverno, sotto la copertura di ghiaccio, P = primavera (maggio - inizio luglio), E = estate (luglio - settembre), A = autunno, fino alla formazione del ghiaccio sulla superficie del lago ai primi di dicembre, O = presente tutto l'anno senza particolari preferenze.

Tab. 2 - List of the most frequent phytoplankton taxa identified in Lake Tovel during the period 2002-2004 with indication of frequency and preferred season; r = seldom, p = present, f = frequent, d = dominant, I = winter, under the ice-cover, P = spring (Mai - early July), E = summer (July - September), A = autumn (till ice on in early December), O = all year round.

N.	Nome	Autore	Frequenza	Preferenza
CYANOPHYCEAE				
1	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	W. et G.S. West	p	O
2	<i>Chroococcus</i> sp.	Nägeli	p	O
3	<i>Chroococcus minutus</i>	Kützing (Nägeli)	s	O
4	<i>Synechococcus linearis</i>	Krüger & Eloff	p	O
5	<i>Merismopedia</i> cf. <i>glauca</i>	(Ehrenberg) Kützing	s	O
6	<i>Oscillatoria</i> sp.	Vaucher	s	E, A
CRYPTOPHYCEAE				
7	<i>Cryptomonas marssonii</i>	Skuja	f	E
8	<i>Cryptomonas platyuris</i>	Ehrenberg	p	A, I
9	<i>Cryptomonas reflexa</i>	Skuja	f	O
10	<i>Cryptomonas rostratiformis</i>	Skuja	p	P
11	<i>Katablepharis ovalis</i>	Skuja	f	O
12	<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nannoplanctica</i>	Skuja	f	I, E
DINOPHYCEAE				
13	<i>Amphidinium elenkinii</i>	Skvorcov	s	O
14	<i>Baldinia anauniensis</i>	sp. ined. (Hansen <i>et al.</i> in prep.)	d	E, A
15	<i>Glenodinium sanguineum</i> sensu Dodge	(Marchesoni) Dodge	f, d	I, P
16	<i>Gymnodinium</i> cf. <i>cnecoides</i>	Harris	f	O, P
17	<i>Gymnodinium uberrimum</i> complex	(Allman) Kofoid & Swezy	f, d	P, E
18	<i>Peridiniopsis</i> spp.	Lemmermann	p	O
19	<i>Peridinium umbonatum</i>	Stein	s	P, E
20	<i>Peridinium aciculiferum</i>	Lemmermann	f	I
21	<i>Tovellia sanguinea</i>	sp. inedit. (Moestrup <i>et al.</i> in prep.)	s	E
CHRYSOPHYCEAE AND HAPTOPHYCEAE				
22	<i>Bitrichia chodatii</i>	(Reverdin) Chodat	p	P, E
23	<i>Bitrichia ollula</i>	(Fott) Bourrelly	s	P, E
24	<i>Chryschromulina parva</i>	Lackey	p	E
25	<i>Chrysococcus</i> cf. <i>ellipsoideus</i>	Ettl	p	O, P
26	<i>Chrysolykos planctonicus</i>	Mack	p	P, E
26	<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>americana</i>	(Brunthaler) Bachmann	f, d	P, E
27	<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>stipitatum</i>	(Stein) Lemmermann	s	P, E
29	<i>Kephyrion</i> cf. <i>ampulla</i>	(Skuja) Starmach	s	P, A
30	<i>Mallomonas tonsurata</i> var. <i>alpina</i>	(Pascher & Ruttner) Krieger	f	P, E
31	<i>Phaeaster aphanaster</i>	(Skuja) Bourrelly	s	P, A
32	<i>Pseudokephyrion conicum</i>	(Schiller) Schmid	s	P, A
33	<i>Spiniferomonas bourrelli</i>	Takahashi	s	P, S
34	<i>Spiniferomonas trioralis</i>	Takahashi	s	P
35	<i>Uroglena</i> sp.	Ehrenberg	f	E, A



(Tab. 2 - continua)

(Tab. 2 - continued)

N.	Nome	Autore	Frequenza	Preferenza
BACILLARIOPHYCEAE				
36	<i>Asterionella formosa</i>	Hass	s	I, P
37	<i>Cyclotella radiosa</i>	Grunow	s	E, A
38	<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	Håkasson & Carter	d	E, A
39	<i>Cyclotella praetermissa</i>	Lund	s	E, A
40	<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	Hustedt	f	E, A
41	<i>Fragilaria nanana</i>	Lange-Betalot	f	P, E
42	<i>Fragilaria tenera</i>	(W. Smith) Lange-Bertalot	d	P, E
CHLOROPHYCEAE				
Ord. Volvocales				
43	<i>Carteria</i> sp.	Diesing	s	E
44	<i>Chlamydomonas sagittula</i>	Skuja	s	E, A
45	<i>Chlamydomonas</i> sp. (5-8 µm)	Ehrenberg	f	O
46	<i>Pandorina morum</i>	(O. F. Müller) Bory	s	I, A
47	<i>Pascherina</i> sp.	P. C. Silva	p	P, A
48	<i>Tetraselmis</i> sp.	Stein	f	E
Ord. Chlorococcales				
49	<i>Dichotomococcus elegans</i>	Bachmann	s	E, A
50	<i>Elakatothrix genevensis</i>	Hindák	p	E
51	<i>Oocystis</i> sp.	Nägeli	s	O
52	<i>Tetraedron minimum</i> var. <i>tetralobulatum</i>	(A. Braun) Hansgirg	p	E
Ord. Zygnemales				
53	<i>Cosmarium</i> spp.	Corda	p	E, A
54	<i>Staurastrum</i> sp.	Meyen	s	O
55	<i>Staurastrum planctonicum</i>	Teiling	s	O

& Carter e *Fragilaria tenera* (Tab. 2) – hanno costituito il gruppo in generale più abbondante, in particolare nei mesi estivi (max= 70% del biovolume totale), nella Baia Rossa sono le dinoflagellate ad aver raggiunto i maggiori biovolumi. Tuttavia, nel punto B la dominanza delle dinoflagellate è apparsa generalmente di breve durata e spesso interrotta dall'intenso sviluppo di altri gruppi – quali alghe verdi *sensu lato* (con *Tetraselmis* sp. Stein) nel 2002, Cryptophyceae (*Cryptomonas marssonii* Skuja e *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica* Skuja, Tab. 2) nel luglio 2003 e diatomee (*Fragilaria tenera*) all'inizio dell'estate 2004 – che hanno contribuito alla formazione di almeno uno dei due picchi stagionali. Anche nella Baia Rossa l'estate del 2003 ha presentato, oltre a biovolumi medi ridotti, delle anomalie rispetto agli altri due anni di indagine. Infatti, lo sviluppo stagionale è stato particolarmente irregolare e caratterizzato dall'alternarsi di intense ma brevi fasi di crescita di gruppi algali diversi.

Chlorophyceae *sensu lato*, Cryptophyceae e Cyanophyceae – queste ultime presenti solo con forme coccali tipiche di ambienti oligotrofici, quali *Synechococcus linearis* Krüger & Eloff – sono risultate molto meno numerose e abbondanti rispetto a diatomee e a dinoflagellate, e in grado di raggiungere abbondanze discrete solo sporadicamente nella Baia Rossa (Fig. 6). È importante inoltre notare che, nonostante la variabilità interannuale a livello di composizione specifica complessiva e di gruppi algali dominanti sia apparsa minima nel Lago di Tovel nel periodo 2002-2004, i biovolumi maggiori sia delle diatomee sia delle dinoflagellate sono dovuti allo sviluppo alternativo di taxa diversi, tra cui i più importanti sono *Cyclotella cyclopuncta*, *C. pseudostelligera* e *Fragilaria tenera* per le diatomee e, tra le dinoflagellate, *Gymnodinium uberrimum*, il morfotipo verde del *Glenodinium sanguineum* (ora rinominato *Baldinia anauniensis* gen. inedit. sp. inedit. Hansen *et al.* in prep., Flaim *et al.* 2006) e *Glenodinium sanguineum*.

*neum sensu* Dodge (1987, Tab. 2). Quest'ultimo taxa ha addirittura prodotto un breve arrossamento delle acque della Baia Rossa il 6 luglio 2004, mentre la forma rossa del *Glenodinium sanguineum* (*Tovellia sanguinea* sp. inedit.), responsabile dell'arrossamento delle acque del lago fino al 1964, è risultata del tutto sporadica durante l'intero periodo di studio sia nella Baia Rossa che nel Bacino Principale. La densità maggiore (= ca. 120 10<sup>3</sup> ind. l<sup>-1</sup>), riscontrata all'inizio nell'estate del 2003 nel punto B, contribuiva a meno del 5% del biovolume totale delle dinoflagellate. Per ulteriori dettagli sulla distribuzione dei diversi taxa di dinoflagellate e diatomee in funzione delle variabili ambientali e sulle relazioni interspecifiche di veda Corradini *et al.* (2005), Calliari *et al.* (2006) e Tolotti *et al.* (2005).

L'abbondanza delle diatomee, soprattutto di *Fragilaria tenera* (syn. *Synedra acus* var. *radians* (Kützing) Hustedt, *Synedra acus* var. *angustissima* Grunow in Van Heurck) è una delle poche caratteristiche della comunità fitoplanctonica del Lago di Tovel documentata già nei lavori condotti durante il periodo di arrossamento, quando gli studi erano quasi esclusivamente ristretti al periodo di fioritura e all'osservazione di '*Glenodinium sanguineum*'. Baldi (1941) e Marchesoni (1959) parlano di un fitoplancton estremamente abbondante ma "qualitativamente povero oltre ogni aspettativa", in cui le uniche specie osservabili nei campioni da retino erano *Ceratium hirundinella* O.F. Muller in primavera, '*Glenodinium sanguineum*' nei mesi estivi e *Synedra acus* var. *radians* tra l'inizio dell'estate e l'autunno. Dopo la scomparsa del fenomeno dell'arrossamento le indagini cominciarono a essere estese anche agli aspetti quantitativi dell'intera comunità fitoplanctonica. Tuttavia, poiché gli studi furono concentrati sulla ricerca di cambiamenti della limnologia generale del lago che potessero spiegare la scomparsa dell'arrossamento, le informazioni disponibili rimangono frammentarie e per la maggior parte ristrette al bacino principale. Arrighetti & Siligardi (1977, 1979) riferiscono di una comunità relativamente ricca in generi e specie, caratterizzata dalla dominanza estesa per tutto l'anno, sia nel Bacino Principale che nella Baia Rossa, di diatomee pennate (*Synedra* spp.). Ai due autori è dovuta anche la prima menzione dell'abbondanza estiva di *Cyclotella* spp. e l'osservazione di un debole fenomeno di arrossamento, attribuito a '*Glenodinium sanguineum*', dopo 10 anni dalla scomparsa delle fioriture. Pochissime informazioni sono disponibili per gli anni '80, con l'eccezione del dettagliato studio condotto da Inama negli anni 1988-1989 (Paganelli 1992), che riferisce della dominanza estiva di *Cyclotella* e *Synedra* (*Fragilaria tenera*), talvolta accompagnate dalle Chlorophyceae *sensu lato*, e della scarsità quantitativa e qualitativa delle alghe flagellate, in particolare di Chrysophyceae e dinoflagellate, entrambe presenti con soltanto due taxa. Paganelli riferisce anche di uno sviluppo pre-

coce, rispetto al periodo pre-1965, di '*Glenodinium sanguineum*' tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate, interpretando il fenomeno come un adattamento fisiologico dell'alga a condizioni ambientali diverse rispetto al periodo pre-1965, e in particolare a un clima più freddo e a una minore disponibilità di nutrienti.

La dominanza delle diatomee nel bacino principale del lago e l'abbondanza e distribuzione delle dinoflagellate nella Baia Rossa ha anche suggerito l'idea dell'esistenza di un rapporto di competizione tra i due gruppi algali, che potrebbe spiegare la loro segregazione spaziale e in parte temporale. Tuttavia, osservando la figura 6 si nota come nel bacino principale i due gruppi sembrano avere andamenti indipendenti, mentre nella Baia Rossa il loro sviluppo temporale sembra concorde e caratterizzato da massimi e minimi sincronizzati. Queste osservazioni sono confermate dai coefficienti di correlazione di Spearman calcolati tra i volumi medi dei due gruppi nei due punti di campionamento e nei tre anni di osservazione. Nel punto A sono stati infatti ottenuti coefficienti non significativi, mentre nella Baia Rossa la correlazione tra le abbondanze dei due gruppi è risultata positiva e significativa ( $r=0,53$ ,  $p<0,001$ ,  $N=34$ ), a confermare fasi di crescita e di declino concordi e sincronizzate. Risultati simili sono stati ottenuti mettendo in relazione i biovolumi dei due gruppi algali alle singole profondità. Tuttavia, mentre nel punto A i coefficienti di correlazione non sono mai significativi, nel punto B diatomee e dinoflagellate risultano correlate positivamente solo in superficie e a 2 m di profondità.

## 5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Nel periodo d'indagine 2002-2004 la Val di Tovel è stata caratterizzata da condizioni climatiche variabili che hanno fortemente influenzato il regime idrologico e termico del lago. Tuttavia, le caratteristiche chimiche, e in particolare le concentrazioni dei principali nutrienti algali, hanno mostrato una notevole stabilità, oltre a una sostanziale uniformità nei due bacini del lago. Mentre l'andamento stagionale dei livelli di nitrato e di silice può essere messo in relazione con dinamiche di tipo sia idrologico sia biologico (Corradini & Boscaini 2006; Tolotti *et al.* 2005), le concentrazioni di fosforo risultano estremamente basse e apparentemente indipendenti dagli eventi fisici, chimici e biologici.

Anche la comunità fitoplanctonica del Lago di Tovel ha mostrato, nel periodo 2002-2004, alcuni elementi di notevole stabilità, affiancati tuttavia da caratteristiche maggiormente variabili. Uno degli aspetti ad apparire più stabili, menzionato sia dai primi studi (Baldi 1941) sia da quelli post-1965 (es. Paganelli 1992), è la tendenza alla formazione di due

picchi di biovolume fitoplanctonico durante il periodo vegetativo (il primo primaverile-estivo, il secondo estivo-autunnale), sia nel Bacino Principale sia nella Baia Rossa. Le condizioni idrologiche del lago, strettamente legate alle vicende meteorologiche locali, appaiono come un elemento determinante sia per il mantenimento di questo tipico andamento stagionale sia per il sostegno della crescita fitoplanctonica, come dimostrano i biovolumi ridotti e l'andamento stagionale irregolare osservati nella calda e secca estate del 2003.

La distribuzione verticale del fitoplancton nel Bacino Principale, spesso omogenea o con valori più elevati oltre i 10 m di profondità, sembra costituire un altro elemento di stabilità del fitoplancton del Lago di Tovel, almeno per il periodo post-1965 (Paganelli 1992).

La Baia Rossa è caratterizzata da biovolumi massimi sempre maggiori e da andamenti stagionali più irregolari e variabili rispetto al Bacino Principale, ma il confronto con il passato è in questo caso molto più difficile, a causa della scarsità di dati relativi sia al periodo delle fioriture sia a quello successivo al 1965.

La fase di decremento che separa i due picchi stagionali di biovolume è difficilmente interpretabile come una *clear phase* dovuta al *grazing* dello zooplankton sul fitoplancton, a causa della scarsa densità del mesozooplankton filtratore, tipica del Lago di Tovel e molto accentuata nel bacino principale (es. Oberegger *et al.* 2005, 2006). Sembra più verosimile che il tipico andamento estivo del fitoplancton sia dovuto all'istaurarsi di condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo intenso, ma asincrono, di pochi o addirittura singoli taxa appartenenti alternativamente a diatomee, dinoflagellate e Chrysophyceae. Solo nella Baia Rossa gli altri gruppi algali sono talvolta in grado di contribuire alla formazione dei massimi fitoplanctonici complessivi. La relazione tra condizioni ambientali, mediate dalle dinamiche idrologiche, e sviluppo selettivo dei diversi taxa è risultata particolarmente accentuata per le diatomee (Tolotti *et al.* 2005), mentre l'alternanza delle dinoflagellate sembra molto meno influenzata dall'idrologia e maggiormente legata alle caratteristiche fisiologiche (es. mobilità cellulare e mixotrofia) ed ecologiche (es. competizione inter-specifica e *grazing*, Corradini *et al.* 2005).

Al di là della variabilità dovuta all'alternanza dei pochi taxa dominanti, il fitoplancton del Lago di Tovel presenta una diversità contenuta (come dimostrano i soli 55 taxa identificati nell'arco di tre anni), accompagnata da una sostanziale identità tra Bacino Principale e Baia Rossa e da una notevole stabilità interannuale. Il confronto con le associazioni algali passate, anche se ostacolato dalla scarsità e frammentarietà delle informazioni disponibili sia per il periodo delle fioriture che dopo il 1965, suggerisce che la composizione specifica attuale non sia significativa-

mente diversa rispetto al passato. In particolare, l'abbondanza delle diatomee può essere considerata come una caratteristica tra le più stabili per il Lago di Tovel, visto che il ruolo dominante di *Fragilaria tenera* è una delle poche informazioni già menzionate nel periodo pre-1965 ed è costantemente riportata da tutti gli studi successivi. Verosimilmente, anche *Cyclotella* spp. costituisce un elemento stabile della comunità fitoplanctonica del Lago di Tovel, assumendo che questo genere non sia menzionato nei primi studi a causa del metodo di campionamento (retino) e delle dimensioni cellulari molto ridotte (circa 5-9 µm di diametro) che ne ostacolavano l'osservazione con i mezzi dell'epoca. Infatti, l'abbondanza estiva di *Cyclotella* è già riportata negli anni '70 (Arrighetti & Siligardi 1977, 1979), e abbondanti frustuli di *Cyclotella* spp. sono stati rinvenuti nelle numerose carote di sedimento prelevate sia dalla zona profonda sia litorale durante il progetto SALTO (Angeli & Marchetto 2006).

Anche alla luce della revisione tassonomica delle dinoflagellate coinvolte nella formazione del fenomeno dell'arrossamento (Flaim *et al.* 2004, 2006), la maggiore differenza tra la situazione attuale e il passato sembra riguardare l'abbondanza e non la presenza dei diversi taxa. Tra questi, solo *Tovellia sanguinea* sp. inedit. (il morfotipo rosso del *Glenodinium sanguineum*) mostra oggi un'abbondanza sicuramente molto ridotta rispetto al periodo delle fioriture. Il confronto risulta molto più difficile per *Baldinia ananensis* gen. inedit. spec. inedit., in passato identificata come morfotipo verde del *Glenodinium* e quindi spesso non conteggiata separatamente, e ancor più per *Glenodinium sanguineum sensu* Dodge, in passato non distinto dalla forma rossa del *Glenodinium* (Dodge *et al.* 1987). La tardiva revisione dell'approccio tassonomico proposto da Baldi (1941) ha portato a non poche interpretazioni erranee durante gli ultimi anni e tuttora rende molto complessa la comprensione dell'evoluzione delle associazioni dinoflagellate del Lago di Tovel. Per esempio, solo durante il progetto SALTO si è compreso che le sporadiche fioriture "rosso mattone", più volte osservate dopo il 1965 (es. Arrighetti & Siligardi 1977, 1979; Paganelli 1992; Cantonati *et al.* 2003), non costituiscono fioriture anomale precoci di *Tovellia sanguinea* connesse a condizioni ambientali sfavorevoli, ma sono prodotte dalla specie *Glenodinium sanguineum sensu* Dodge (es. Calliari *et al.* 2006). Non è tuttavia possibile la comprensione dell'abbondanza e del ruolo ecologico di questa specie nel passato.

La Baia Rossa del Lago di Tovel è caratterizzata da condizioni idrologiche peculiari, diverse da quelle del Bacino Principale, che ne influenzano in primo luogo le caratteristiche termiche e quindi quelle chimiche (Corradini & Boscaini 2006). Le indagini condotte durante il progetto SALTO hanno permesso di evidenziare significative differenze anche a livello

di associazioni e dinamiche fitoplanctoniche. Il biovolume fitoplanctonico complessivo tende a essere più elevato nella Baia Rossa, soprattutto durante le fasi di maggior sviluppo algale all'inizio e alla fine dell'estate, come confermato dal livello di mesotrofia mostrato da questo bacino in tutti e tre gli anni di studio. Nonostante la composizione specifica del fitoplancton sia praticamente identica nei due bacini del lago, alcuni gruppi algali sono chiaramente più abbondanti nell'uno o nell'altro. In generale, le diatomee prevalgono nel Bacino Principale e le dinoflagellate, accompagnate da altri gruppi (Chlorophyceae *sensu lato* e Cryptophyceae) nella Baia Rossa. I dati raccolti suggeriscono che le diverse condizioni di stratificazione termica giochino un ruolo determinante nella selezione dei gruppi dominanti nei due bacini. Infatti, l'assenza di stratificazione termica stabile favorisce la crescita delle diatomee, incapaci di movimento autonomo e il cui sviluppo è fortemente dipendente dalle condizioni ambientali complessive (Reynolds 1997). D'altro canto, le dinoflagellate sono più adatte ad ambienti termicamente stratificati, caratterizzati da forti gradienti verticali, grazie alla loro buona capacità di spostamento che permette loro un migliore sfruttamento di risorse ambientali distribuite in modo disomogeneo lungo la colonna d'acqua (Reynolds *loc. cit.*). Questa ipotesi sembra supportata dalla differente distribuzione verticale mostrata dai taxa dinoflagellati più importanti soprattutto nella Baia Rossa (es. Corradini *et al.* 2005), la quale è tuttavia dovuta anche a diversi *optimum* di temperatura di crescita (Flaim *et al.* 2006). Infatti, mentre *Baldinia anauniensis* e *Gymnodinium uberrimum* hanno mostrato una netta preferenza per gli strati d'acqua superficiali, l'abbondanza di *Glenodinium sanguineum sensu Dodge*, è sempre stata maggiore all'inizio dell'estate e negli strati d'acqua freddi prossimi al fondo della Baia Rossa.

Il metabolismo mixotrofico tipico di molte dinoflagellate, anche se non ancora dimostrato nelle specie del Lago di Tovel, potrebbe inoltre spiegare la minore dipendenza dall'input di nutrienti mediato dal regime idrologico osservata per le specie presenti nel lago (Tolotti *et al.* in prep.). È interessante inoltre notare che, a parte le diatomee, anche gli altri taxa in grado di contribuire significativamente al biovolume fitoplanctonico totale della Baia Rossa sono rappresentati da alghe flagellate (Chlorophyceae dell'ordine Volvocales e Cryptophyceae).

Il confronto fra le abbondanze dei principali gruppi fitoplanctonici – diatomee e dinoflagellate – nel Bacino Principale del lago e nella Baia Rossa ha fornito la possibilità di un'analisi critica della teoria di Baldi (1941), che spiegava il fenomeno dell'arrossamento da un punto di vista idrologico. Baldi ipotizzava un progressivo accumulo di grandi quantità di '*Glenodinium sanguineum*' nella Baia Rossa,

trasportate passivamente dalla brezza che durante le ore centrali delle giornate estive soleggiate soffia in direzione NE-SO. Questo trasporto passivo doveva essere accentuato dalla migrazione attiva delle alghe verso gli strati d'acqua superficiali più caldi e illuminati. La scarsità di *Tovellia sanguinea* durante l'intero periodo di indagine non ha permesso la verifica diretta di questa ipotesi, che è stata in parte testata utilizzando il morfotipo verde del '*Glenodinium sanguineum*', *Baldinia anauniensis* (Corradini dati non pubblicati, Flaim *et al.* 2003). Tuttavia, se questa ipotesi fosse corretta, non solo il '*Glenodinium*', ma anche le altre dinoflagellate e gli altri taxa fitoplanctonici presenti negli strati d'acqua superficiali nei mesi estivi dovrebbero subire lo stesso fenomeno di accumulo passivo.

Tra le dinoflagellate solo *Tovellia sanguinea*, quando presente, *Baldinia anauniensis* e *Glenodinium sanguineum sensu Dodge*, sono risultate sempre più abbondanti negli strati superficiali della Baia Rossa rispetto al punto A. *Gymnodinium uberrimum* è risultato più abbondante nel Bacino Principale del lago, nonostante la netta preferenza per gli strati d'acqua superficiali. Allo stesso modo, mentre *Cyclotella* spp. è sempre stata più abbondante negli strati superficiali del punto B, *Fragilaria tenera* è sempre stata più abbondante nel punto A.

Il comportamento non uniforme dei diversi taxa presi in considerazione non sembra pertanto supportare l'ipotesi di Baldi. D'altro canto, una migrazione giornaliera di grandi quantità di '*Glenodinium*' dal Bacino Principale alla Baia Rossa e viceversa non sembra verosimile. Tuttavia, circolazioni superficiali giornaliere sono state effettivamente misurate nei primi 50 cm della Baia Rossa nel corso del progetto SALTO (Rizzi *et al.* 2006) e più volte osservate a occhio nudo lungo la riva SO durante i campionamenti estivi, come per esempio in occasione della fioritura di *Glenodinium sanguineum sensu Dodge* del 6 luglio 2004. Pertanto, si deve ammettere la capacità della brezza di spostare e accumulare almeno le alghe presenti all'interno della Baia Rossa, quindi un suo ruolo attivo a livello locale.

Tutte queste osservazioni mettono chiaramente in evidenza come la Baia Rossa costituisca un sorta di "lago nel lago", caratterizzato da peculiarità fisiche, chimiche e biologiche chiaramente diverse rispetto al Bacino Principale, in grado di selezionare sia i taxa algali meglio adattati a questo ambiente sia le dinamiche stagionali e la produttività fitoplanctonica. In quest'ottica, la Baia Rossa sembra poter svolgere un ruolo importante come serbatoio di biodiversità e di biomassa per il Bacino Principale del lago e non il contrario, come proposto dagli studiosi del passato.

Le condizioni ambientali attuali, anche se evidentemente non sono più tali da sostenere la fioritura di *Tovellia sanguinea*, rimangono comunque favorevoli all'intenso sviluppo di taxa dalle caratteristiche eco-



logiche simili, come *Glenodinium sanguineum sensu* Dodge e *Baldinia anauniensis*. Inoltre, il fatto che l'associazione fitoplanctonica attuale sembri in sostanziale equilibrio con il passato induce a escludere modificazioni ambientali profonde del Lago di Tovel negli ultimi decenni – per altro non evidenziate nemmeno dalle indagini paleolimnologiche condotte durante il progetto SALTO –, ma ad ammettere piuttosto cambiamenti puntuali di singole o poche variabili che limitano la capacità di sviluppo sostanzialmente di un'unica specie, *Tovellia sanguinea*. Purtroppo, queste ipotesi sembrano destinate a restare tali a causa della scarsità di dati chimici e biologici relativi sia al periodo delle fioriture che a quello post-1965.

#### RINGRAZIAMENTI

Il progetto SALTO è stato finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento. Gli autori sono grati a Federica Fiamingo, Simone Degaspero e a tutto il personale tecnico del Dipartimento Valorizzazione Risorse Naturali dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige per il contributo al lavoro di campo. Un ringraziamento particolare va al prof. Eugen Rott (Istituto di Botanica, Università di Innsbruck, Austria) per il supporto scientifico e il miglioramento delle determinazioni tassonomiche del fitoplancton.

#### BIBLIOGRAFIA

- Angeli N. & Cantonati M., 2005 - Depth-distribution of surface sediment diatoms in Lake Tovel, Italy. *Verh. Internat. Ver. Limnol.*, 29: 539-544.
- Angeli N. & Marchetto A., 2006 - Le diatomee subfossili del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 137-146.
- Arrighetti A. & Siligardi M., 1977 - Indagini climatologiche e analisi idrobiologiche al lago di Tovel (TN), campagna 1975-1976. *Esp. ric.*, 6: 273-371.
- Arrighetti A. & Siligardi M., 1979 - Analisi idrobiologiche al lago di Tovel (Trento). Campagna 1977-1978. *Esp. ric., sett. Foreste*, 5: 5-69.
- Baldi E., 1941 - Ricerche idrobiologiche sul lago di Tovel. *Mem. Mus. St. Nat. Venezia Trid.*, 6: 1-297.
- Borsato A. & Ferretti P., 2006 - Monitoraggio idrometrico del Lago di Tovel e del suo bacino. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 205-223.
- Calliari D., Tolotti M. & Corradini F., 2006 - Littoral distribution of dinoflagellates in Lake Tovel (Trentino, Italy). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 341-350.
- Cantonati M., Tardio M., Tolotti M. & Corradini F., 2003 - Blooms of the dinoflagellate *Glenodinium sanguineum* obtained during enclosure experiments in lake Tovel (N. Italy). *J. Limnol.*, 62: 79-87.
- Corradini F. & Boscaini A., 2006 - Fisica e chimica delle acque del Lago di Tovel (Trentino, Alpi centrali). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 307-326.
- Corradini F., Flaim G. & Pinamonti V., 2001 - Five years of limnological observations on Lake Tovel (1995-1999): some considerations and comparison with past data. *Atti. Soc. Ital. Oceanol. Limnol.*, 14: 209-218.
- Corradini F., Tolotti M., Calliari D. & Fiamingo F., 2005 - Influence of environmental factors on diatoms and dinoflagellates in lake Tovel (Trentino, Italy). *Verh. Internat. Ver. Limnol.*, 29: 469-472.
- Dodge J.D., Mariani P., Paganelli A. & Trevisan R., 1987 - Fine structure of the red-bloom dinoflagellate *Glenodinium sanguineum* from the Lake Tovel (N. Italy). *Algol. Studies*, 47: 125-138.
- Eccel E., 2006 - Climatologia del Lago di Tovel nel periodo di indagine del Progetto SALTO (2001-2004) e considerazioni sulle tendenze climatiche. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 259-263.
- Eccel E. & Toller G., 2006 - Inquadramento climatico del Lago di Tovel e del suo bacino. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 247-258.
- Flaim G., Rott E., Corradini F., Toller G. & Borghi B., 2003 - Long term species composition and diurnal migration of dinoflagellates in Lake Tovel (Trentino, Italy). *Hydrobiologia*, 502: 357-366.
- Flaim G., Hansen G., Moestrup Ø., Corradini F. & Borghi B., 2004 - Reinterpretation of the dinoflagellate '*Glenodinium sanguineum*' in the reddening of Lake Tovel, Italian Alps. *Phycologia*, 43: 737-743.
- Flaim G., Corradini F., Borsato A., Ferretti P., Eccel E., Obertegger U. & Borghi B., (2005) - The importance of hydraulic conditions in determining ecological equilibrium in an Alpine lake: lake Tovel (Trentino, Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29 (in stampa).
- Flaim G., Moestrup Ø., Hansen G. & D'Andrea M., 2006 - Da *Glenodinium* a *Tovellia*. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 447-457.
- Ferretti P. & Borsato A., 2004 - Monitoraggio idrologico del bacino e del lago di Tovel (Trentino occ.). Atti del 29. Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Trento, 7-10 settembre 2004. Editoriale Bios, Cosenza, 2: 99-106.
- Gerosa V., 1970 - La natura chimica delle sostanze che provocano l'arrossamento del lago di Tovel, III. Studio di un eccezionale fenomeno di prearrossamento. *Studi Trent. Sci. Nat.*, 48: 107-132.
- Kulbe T., Anselmetti F., Cantonati M. & Sturm M., 2005 - Environmental history of lago di Tovel, Trento, Italy, revealed by sediment cores and 3.5 kHz seismic mapping. *J. Paleolim.*, 34: 325-337.
- Marchesoni V., 1959 - La Val di Tovel e il "Lago rosso". *Natura Alpina*, 10: 37-76.
- Moestrup Ø., Hansen G., Daugjberg N., Flaim G. & D'Andrea M., (2006) - On *Tovellia sanguinea* sp. nov., the dinoflagellate species responsible for the reddening of Lake Tovel, N. Italy. *Eur. J. Phycol.* (in press).

- Obertegger U., Braioni G., Borsato A., Ferretti P. & Flaim G., 2005 - Influence of biotic and abiotic factors on seasonality of meso-zooplankton in lake Tovel (Trentino, Italy). *Verh. Internat. Ver. Limnol.*, 29: 865-868.
- Obertegger U., Braioni M.G. & Flaim G., 2006 - The zooplankton of Lake Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 369-378.
- OECD, 1982 - *Eutrophication of waters, Monitoring, Assessment and Control*. Paris: 154 pp.
- Oetheimer C., 1992 - La foresta sommersa del lago di Tovel (Trentino): reinterpretazione e datazione dendrocronologica. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 67: 3-23.
- Paganelli A., 1992 - Lake Tovel (Trentino): limnological and hydrobiological aspects. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 50: 225-257.
- Reynolds C.S., 1997 - Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. In: Kinne O. (ed.), *Excell. Limnol.*, 9: 371 pp.
- Rizzi G., Serafini M., Tonetta M. & Tubino M., 2006 - Hydrothermodynamics of Lake Tovel. Part I: Experimental analysis *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 281-289.
- Rott E., 1981 - Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schw. Zeit. Hydrol.*, 43: 34-62.
- Rott E., 1984 - Phytoplankton as biological parameter for the trophic characterisation of lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 1078-1085.
- Tolotti M., Calliari D., Boscaini A. & Corradini F. (2005) - Weather driven ecology of planktonic diatoms in Lake Tovel (Trentino, Italy). *Hydrobiologia*, (in stampa).
- Utermöhl H., 1958 - Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 9: 1-38.
- Vollenweider R.A. (ed.), 1974 - *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. 2<sup>nd</sup> edition. IBP Handbook No 12, Blackwell, Oxford: 225 pp.