

Le diatomee subfossili del Lago di Tovel

Nicola ANGELI^{1*} & Aldo MARCHETTO²

¹Sezione di Limnologia e Algologia, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Via Calepina 14, I-38100 Trento

²CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Largo Tonolli 50, 28922 Verbania, Pallanza

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: angeli@mtsn.tn.it

RIASSUNTO - *Le diatomee subfossili del Lago di Tovel* - Oggetto principale di questo lavoro è lo studio delle associazioni subfossili a diatomee di sedimenti del Lago di Tovel (Provincia di Trento, Nord Italia), bacino lacustre famoso per il fenomeno dell'arrossamento della sua baia sud-occidentale (Baia Rossa). L'analisi delle tafocenosi a diatomee si è basata sul prelievo di carote di sedimento tramite carotaggi a gravità e a pistone da piattaforma mobile galleggiante. Sono state calcolate le abbondanze relative di ogni specie e ricostruiti i principali parametri ambientali quali il fosforo totale. Lo studio della tafocenosi a diatomee del Lago di Tovel ha confermato come lo stato trofico (fosforo totale) del bacino principale del Lago di Tovel sia rimasto simile all'attuale e complessivamente compatibile con una situazione di oligotrofia / oligo-mesotrofia del lago, mentre l'analisi delle carote raccolte nella Baia Rossa e in sua prossimità ha confermato che questo ambiente era la parte del lago più adatta, per disponibilità di nutrienti, a ospitare il fenomeno delle fioriture.

SUMMARY - *Subfossil diatoms of Lake Tovel* - The present work is devoted to the study of diatoms taphocenoses in Lake Tovel (Trento Province, northern Italy) well known to scientists and tourists because of the past reddening of its SW-Bay (Red Bay). Diatom taphocenoses analyses were carried out on samples from sediment cores taken with gravity and piston cores. Relative abundance of the species were calculated and the principal environmental factors like TP were reconstructed. The study of diatom taphocenoses of Lake Tovel confirmed that the trophic status of the Main Basin of this lake was similar to the present day conditions, that is an oligotrophic / oligo-mesotrophic situation. The study of diatom taphocenoses from the shallow Red Bay lake showed that this more segregated environment was the most suitable, in particular in terms of nutrient availability, to host the famous red dinoflagellate blooms.

Parole chiave: Lago di Tovel, diatomee, ricostruzione del fosforo totale, paleolimnologia

Key words: Lake Tovel, diatoms, diatom inferred total phosphorus, paleolimnology

1. INTRODUZIONE

Le diatomee sono delle alghe unicellulari eucariotiche racchiuse in un frustolo siliceo, presenti sia nella colonna d'acqua degli ecosistemi lacustri (diatomee planctoniche) sia attaccate ai substrati presenti del fondale, come massi e ciottoli, piante acquatiche o sedimento (diatomee bentoniche). Il loro frustolo siliceo viene generalmente conservato nel sedimento lacustre dopo la morte della cellula.

La paleolimnologia è quella disciplina che si occupa dello studio delle caratteristiche ecologiche degli ambienti acquatici del passato, ricostruite attraverso l'esame dei sedimenti. I sedimenti lacustri rappresentano infatti dei preziosi archivi naturali in grado di fornire informazioni sugli ambienti lacustri del passato, coprendo un periodo che va da poche decine di anni fino a diversi millenni. Lo studio dei sedimenti

lacustri, delle sostanze chimiche che li caratterizzano e dei resti di organismi che vi sono conservati, come le diatomee, permette di ricostruire non solo le condizioni ambientali passate del lago e del suo bacino, ma anche le variazioni avvenute nel corso degli anni o dei secoli. Dato che molti taxa di diatomee sono ottimi indicatori delle condizioni ambientali, il loro studio permette spesso di ricostruire, per esempio, la quantità di nutrienti (es. fosforo totale) presenti nel lago (Wunsam & Schmidt 1995), il pH (Arzet 1987; Marchetto & Schmidt 1993), la salinità (Reed 1998) la temperatura (Pienitz et al. 1995; Lotter et al. 1997) o i quantitativi di carbonio organico disciolto nell'acqua, principale responsabile dell'attenuazione della radiazione UV negli ambienti che ne sono ricchi (Hall & Smol 1999; Battarbee et al. 2001).

Gli studi paleolimnologici riguardanti gli ambienti lacustri montani del territorio della Provincia

Autonoma di Trento sono tuttora poco numerosi e sostanzialmente limitati ai seguenti lavori: Lami *et al.* (1991) e Guilizzoni *et al.* (1992) sul Lago di Tovel, e Baroni *et al.* (2001) sul Lago di Terlago.

Il Lago di Tovel (1178 m s.l.m.), situato in Trentino nel Parco Naturale Adamello-Brenta, è famoso per l'arrossamento delle sue acque, dovuto alla fioritura di un'alga dinoflagellata e cessato bruscamente nel 1964. L'interesse scientifico per questo inconsueto fenomeno ha sollecitato già nel passato diverse ricerche, indirizzate non solo allo studio dell'alga responsabile dell'arrossamento, ma all'intero ecosistema. Le prime indagini sulle diatomee bentoniche della zona litorale del Lago di Tovel risalgono ai primi anni del '900 con i lavori di Largaiolli (1905, 1906), seguiti da quelli di Baldi (1941), Marchesoni (1941) e, più recentemente, di Paganelli (1992) e di Dell'Uomo & Pedrotti (1982). Dell'Uomo & Masi (1988) hanno fatto il punto sulle conoscenze sulla biodiversità delle diatomee bentoniche (campionate da riva), rappresentate complessivamente da 134 taxa.

Scopo del presente lavoro è contribuire alla conoscenza dei fattori ambientali responsabili del mancato arrossamento delle acque del Lago di Tovel attraverso l'analisi dei resti di diatomee conservati nei sedimenti del lago, e quindi ricostruire l'evoluzione temporale di fattori limnologici ritenuti fondamentali nel condizionare il fenomeno del-

l'arrossamento, come ad esempio la concentrazione di fosforo totale nell'acqua del lago (Dodge 1970; Paganelli, 1992; Vittori *com. pers.*).

2. METODI

Nell'ambito del progetto SALTO sono state analizzate le diatomee presenti in cinque carote di sedimento (Fig. 1): TOV01-1V (19 cm analizzati con risoluzione di un cm) e TOV04-RB3 (20 cm analizzati con risoluzione di 0,5 cm da 0 a 10 cm e ogni cm da 10 a 20 cm), carote prelevate nella Baia Rossa per l'analisi delle diatomee bentoniche; TOV03-19 (20 cm analizzati con risoluzione di 1 cm, carota "litorale", diatomee bentoniche), TOV03-3 (40 cm analizzati con risoluzione di 1 cm) e TOV01-5 (20 cm analizzati con risoluzione di 0,5 cm), carote prelevate nel bacino principale per l'analisi delle diatomee planctoniche. Sono state esaminate anche le carote aggiuntive 7A-7B-7C, ottenute con un carotiere a pistone, e TOV01-4V. Il materiale fresco delle carote è stato oggetto di numerose osservazioni per verificare la presenza di diatomee. Dettagli su morfologia, datazione e correlazione delle carote sono disponibili in Kulbe *et al.* (2005, 2006) e Appleby & Piliposian (2006). Inoltre, è stato eseguito uno studio della distribuzione verticale delle diatomee nei sedimenti superficiali del Bacino

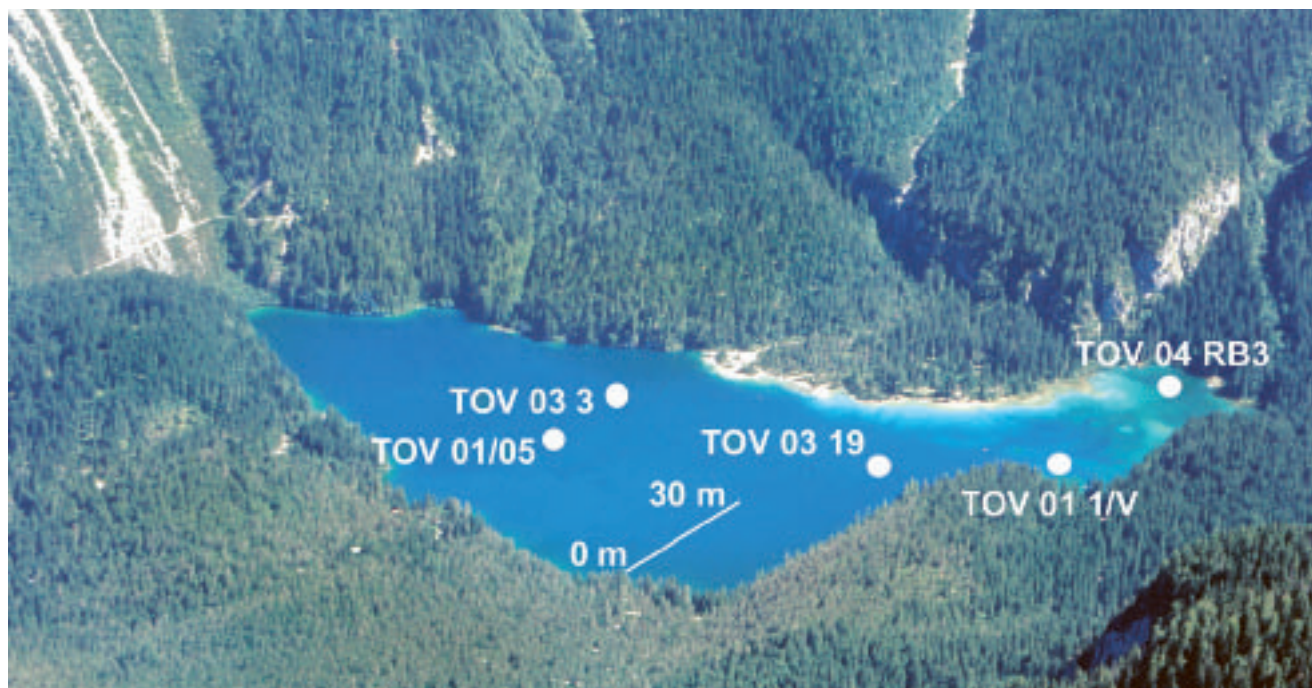


Fig. 1 - Localizzazione e codice delle carote di sedimento prelevate nel Lago di Tovel e utilizzate per lo studio delle tafocenosi a diatomee; localizzazione del transetto lungo il quale è stato compiuto lo studio sulla distribuzione delle associazioni di diatomee (epipeliche) contenute nel sedimento superficiale.

Fig. 1 - Location and codes of the sediment cores used for diatom taphocenoses analysis; location of the depth-profile sampled for the study of the distribution of surface sediment diatoms.

Principale lungo un transetto, per ricostruire possibili cambiamenti di livello dell'acqua del lago nel passato (Angeli & Cantonati 2005).

Per il campionamento delle carote sono stati usati prevalentemente dei carotatori a gravità calati da natanti o da una piattaforma galleggiante mobile (Ditta Uwitec, Mondsee, Austria). La carote 7A-7B-7C sono state prelevate mediante *piston coring* sempre dalla medesima piattaforma galleggiante. L'apertura delle carote e il sub-campionamento del sedimento per le analisi sono stati eseguiti nei laboratori dello Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG, Duebendorf-Zuerich), del CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (ISE, Verbania, Pallanza) e del Museo Tridentino Scienze Naturali (MTSN, Trento). I campioni di sedimento delle carote per l'analisi delle diatomee sono stati preparati prevalentemente a freddo, trattando i campioni con un sonicatore a ultrasuoni, al fine di omogeneizzare e separare le particelle di materia organica, oppure eliminando la sostanza organica mediante l'aggiunta di perossido di idrogeno e acido cloridrico a bagnomaria e successivamente lavandoli in centrifuga con acqua distillata. I campioni sono stati poi montati mediante resina ad alto indice di rifrazione (Naphrax[®]) su vetrini portaoggetto e osservati al microscopio ottico Zeiss Axioskop 2 plus a 1000 ingrandimenti, avendo cura di contare almeno 450 valve ogni tre repliche.

Per la determinazione tassonomica delle diatomee ci si è avvalsi delle seguenti chiavi di determinazione: Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991), Krammer (2000-2003), Scheffler & Morabito (2003) e Krammer & Lange-Bertalot (2004). La morfologia delle specie più interessanti, o di identificazione particolarmente complessa è stata studiata e fotografata con il microscopio elettronico a scansione Zeiss Evo 40 del Museo Tridentino di Scienze Naturali.

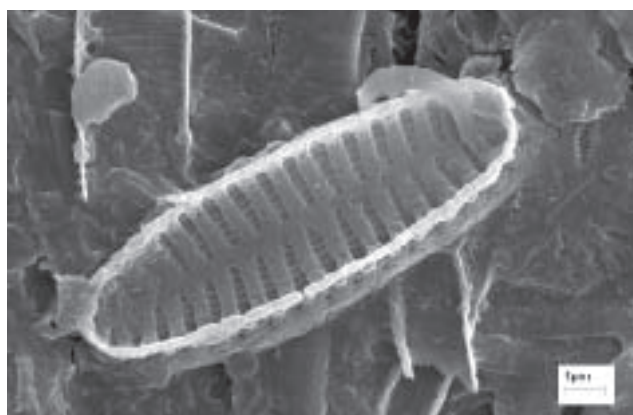


Fig. 2 - Diatomea bentonica *Fragilaria pinnata* Ehrenberg (20.350 x).

Fig. 2 - Benthic diatom *Fragilaria pinnata* Ehrenberg (20,350 x).

I dati sono stati rappresentati graficamente utilizzando il software Tilia. I valori di fosforo totale (TP) sono stati ricostruiti dalle associazioni subfossili di diatomee delle cinque carote basandosi su un *training set* ottenuto da un gruppo di laghi localizzati nell'Europa centrale (Wunsam & Schmidt 1995). Per l'applicazione di questo *training set* e delle relative *transfer functions* ci si è avvalsi del programma C2 (Juggins 2003).

3. RISULTATI

In molte delle carote di sedimento prelevate nel 2001 dal bacino principale del Lago di Tovel e dalla Baia Rossa non sono state trovate diatomee (carote 7A-7B-7C, *piston corer* di 7 metri circa e TOV 01 4/V). Tuttavia, grazie allo svolgimento di tre campagne di carotaggio, di cui una ha visto il prelievo di una serie di carote di sedimento lungo alcuni transetti del lago, è stato possibile trovare carote in cui le diatomee erano presenti e ben conservate.

Le tafocenosi a diatomee del Lago di Tovel includono diversi taxa bentonici tra cui *Fragilaria pinnata* (Fig. 2), *F. brevistriata*, *F. construens* v. *venter*, *F. robusta*, *Diploneis krammeri*, *D. oblongella* e *Denticula tenuis*. I taxa planctonici (*Cyclotella* spp. e *Fragilaria tenera*) sono rappresentati prevalentemente nel sedimento delle carote prelevate nella parte più profonda del bacino principale del Lago di Tovel (Figg. 3-4). Qui di seguito vengono descritte le tafocenosi delle cinque carote selezionate nel corso del presente studio.

TOV03-3

La carota (Fig. 5), prelevata nel bacino principale del Lago di Tovel, è dominata da diatomee planctoniche rappresentate da *Cyclotella comensis* m. *minima*

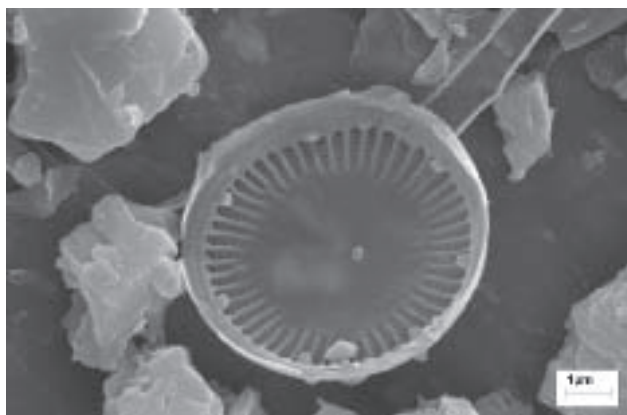


Fig. 3 - Diatomea planctonica *Cyclotella comensis* morphotyp *minima* Scheffler & Morabito 2003 (22.350 x).

Fig. 3 - Planktonic diatom *Cyclotella comensis* morphotyp *minima* Scheffler & Morabito 2003 (22,350 x).

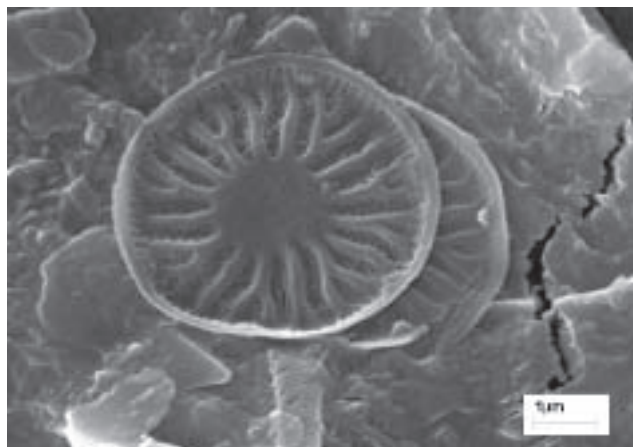


Fig. 4 - Diatomea planctonica *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt (27.790 x).

Fig. 4 - Planktonic diatom *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt (27.790 x).

e *Fragilaria tenera*. I cambiamenti più significativi nella tafocenosi si registrano nei primi cm di sedimento (*top*) dove si osserva una grande abbondanza di *Cyclotella pseudostelligera* e *C. cyclopuncta*, mentre subito dopo quest'ultima specie viene sostituita da *C. comensis* m. *minima* fino a circa 30 cm di profondità nella carota di sedimento.

Altri taxa rinvenuti (>1%) sono bentonici e sono rappresentati da *Achnanthes minutissima*, *Denticula tenuis*, *Fragilaria brevistriata*, *F. construens* e *F. pinnata*. È importante notare come nei primi 10 cm vi sia un aumento della diatomea *Fragilaria tenera* e una riduzione di *Cyclotella comensis minima*. La ricostruzione del fosforo totale non ha mostrato significative variazioni nell'andamento dei valori di questo nutriente lungo la carota: i valori sono mediamente compresi tra i 10 e i 20 $\mu\text{g l}^{-1}$ e presentano un leggero *trend* di crescita solo nel periodo più recente.

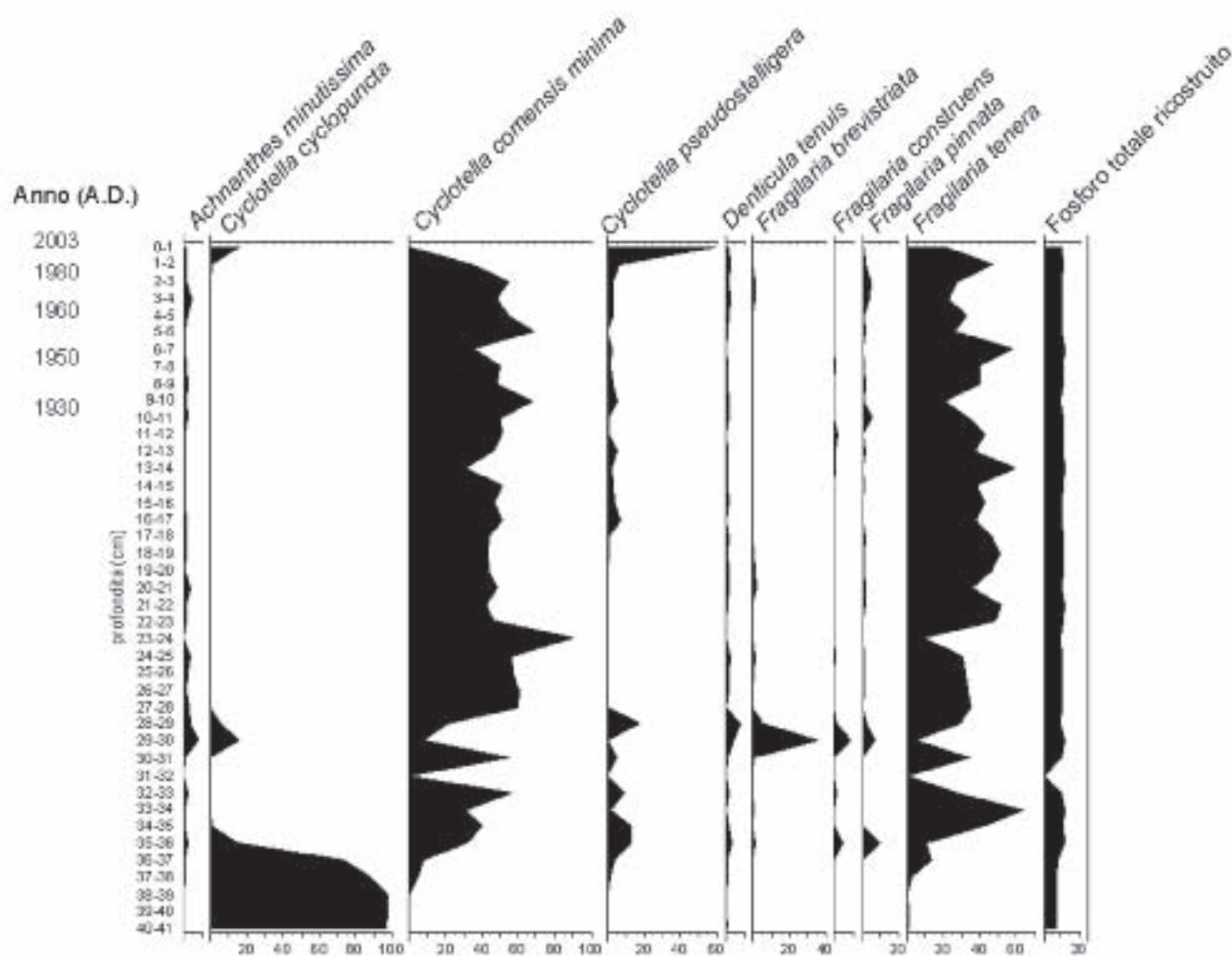


Fig. 5 - Profilo stratigrafico della tafocenosi a diatomee rinvenuta nella carota di sedimento TOV03-3 e ricostruzione del fosforo totale dalle diatomee.

Fig. 5 - Diatom percentage profile for core TOV03-3 and diatom inferred total phosphorus.

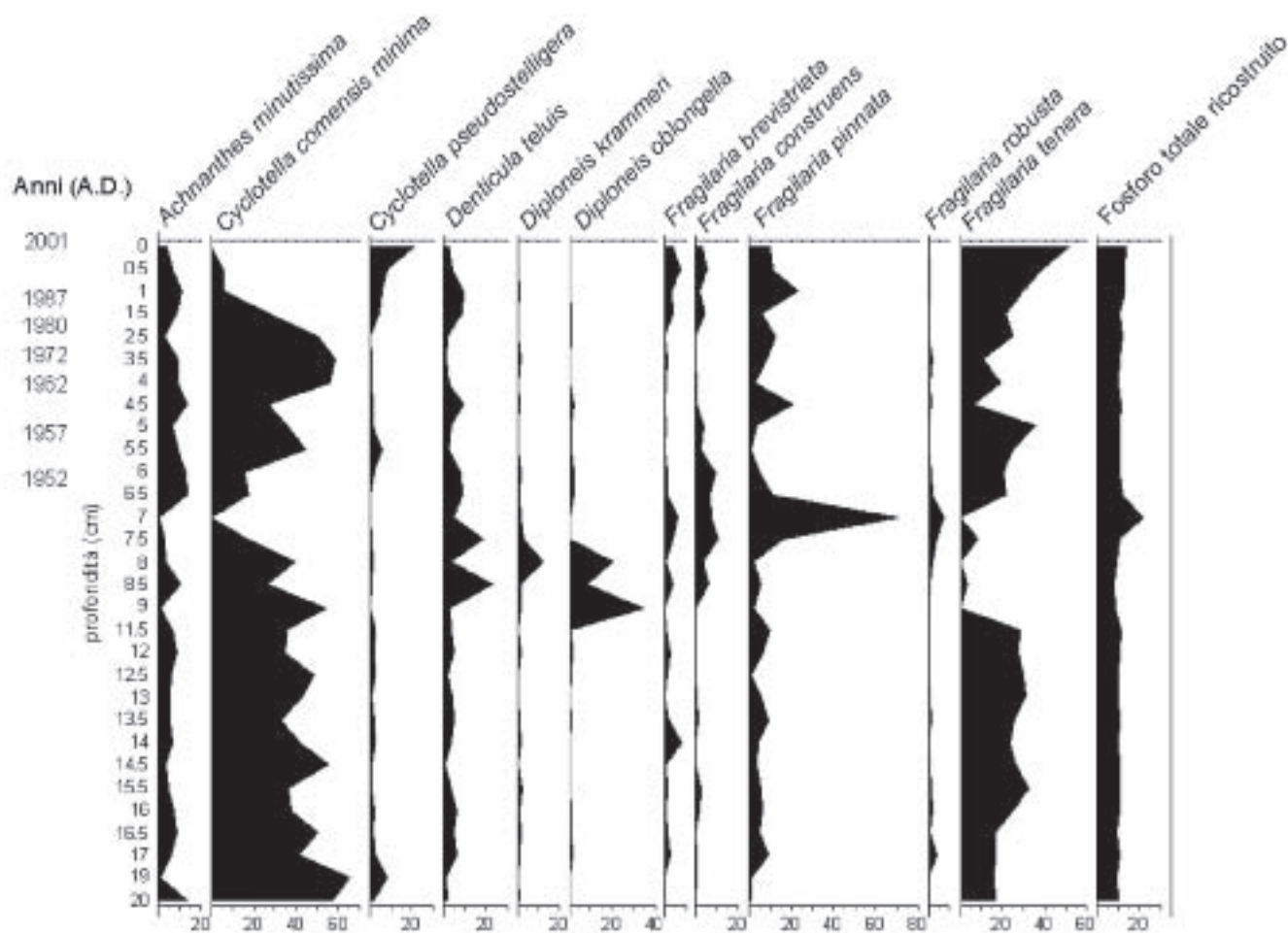


Fig. 6 - Profilo stratigrafico della tafocenosi a diatomee rinvenuta nella carota di sedimento TOV01-5 e ricostruzione del fosforo totale dalle diatomee.

Fig. 6 - Diatom percentage profile for core TOV01-5 and diatom inferred total phosphorus.

TOV01-5

Anche questa carota è stata prelevata nel bacino principale e è dominata da diatomee planctoniche rappresentate da *Cyclotella comensis m. minima* e *Fragilaria tenera* (Fig. 6), con l'eccezione dell'intervallo compreso tra 7 e 9 cm di profondità, dove taxa bentonici tipici di profondità intermedie (6-18 metri), quali *Fragilaria pinnata*, *Diploneis oblongella*, *Diploneis krammeri* e *Denticula tenuis*, sono rappresentati con una buona percentuale, a discapito delle specie planctoniche. Anche questa carota evidenzia come, a partire dal 1962 circa, si sia verificato un progressivo aumento di *Fragilaria tenera*, associato a una diminuzione di *Cyclotella comensis m. minima*. La ricostruzione del fosforo totale mostra valori mediamente compresi tra 10 e i 15 $\mu\text{g l}^{-1}$, anche in questo caso con un debole trend di crescita nel periodo più recente.

TOV03-19

Questa carota è stata prelevata nella zona litorale a circa 16,6 m di profondità nel bacino principale del Lago di Tovel e contiene specie di diatomee bentoniche, quali *Fragilaria pinnata*, *F. brevistriata*, *F. construens* e *Denticula tenuis*, simili a quelle presenti nella Baia Rossa (Fig. 7). Non è stata trovata, invece, alcuna diatomea planctonica e la tafocenosi a diatomee mostra, per tutto l'intervallo esaminato, una variazione opposta tra le specie *Fragilaria brevistriata* e *F. pinnata* da un lato (0-10 cm) e le specie *Denticula tenuis* e *Fragilaria construens* dall'altro (10-20 cm).

Anche in questo caso i valori di fosforo totale ricostruiti in base alle tafocenosi a diatomee sono compresi tra i 10 e i 15 $\mu\text{g l}^{-1}$.

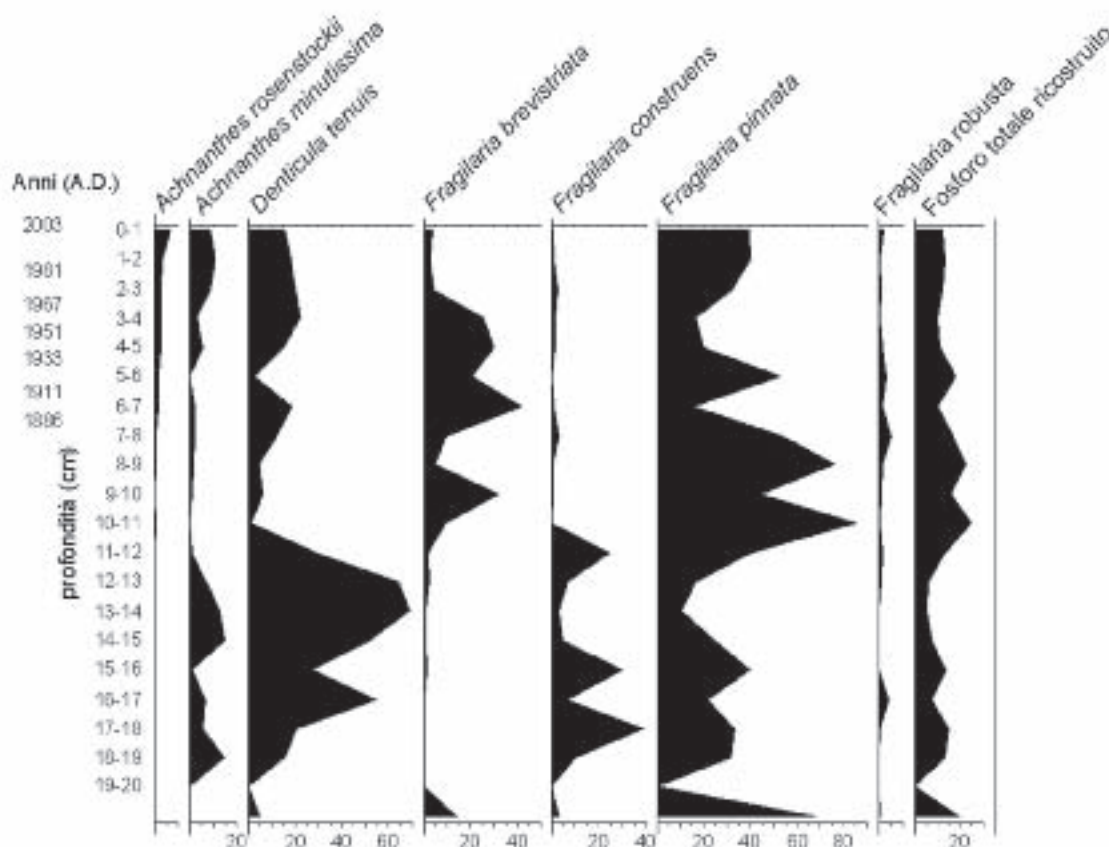


Fig. 7 - Profilo stratigrafico della tafocenosi a diatomee rinvenuta nella carota di sedimento TOV03-19 e ricostruzione del fosforo totale dalle diatomee.

Fig. 7 - Diatom percentage profile for core TOV03-19 and diatom inferred total phosphorus.

TOV01-1V

In questa carota prelevata nella Baia Rossa le tafocenosi rinvenute sono rappresentate per tutta la lunghezza da diatomee bentoniche caratterizzate da valve molto robuste, appartenenti prevalentemente a specie del genere *Fragilaria*. Non è stata, invece, trovata alcuna diatomea planctonica e la tafocenosi a diatomee non mostra importanti cambiamenti nel tempo (Fig. 8). I valori di fosforo totale ricostruiti sono leggermente superiori rispetto a quelli ricavati dalle tafocenosi delle carote prelevate dal Bacino Principale e sono compresi tra i 15 e i 25 $\mu\text{g l}^{-1}$.

TOV04-RB3

Anche questa carota è stata prelevata nella Baia Rossa del Lago di Tovel e risulta dominata da *Fragilaria pinnata* per tutta la sua lunghezza (Fig. 9). Altre specie rinvenute sono *Denticula tenuis*, *Achnanthes minutissima*, *F. brevistriata* e *F. robusta*. Anche in questo caso non si rinvenivano significativi cambiamenti della tafocenosi, mentre i valori di fosforo totale ricostruiti risultano compresi tra 20 e 30 $\mu\text{g l}^{-1}$.

4. DISCUSSIONE

Le indagini iniziali intraprese nel primo anno del progetto SALTO riguardanti la biodiversità delle diatomee epilitiche, epipeliche, epifitiche e lo studio della distribuzione delle diatomee del sedimento superficiale lungo un gradiente di profondità nel Lago di Tovel sono state eseguite con l'obiettivo di identificare le specie bentoniche, ottenere un preciso quadro di riferimento per le tafocenosi rinvenute nei sedimenti delle carote analizzate e ricostruire eventuali variazioni di livello del lago nel passato (Angeli *et al.* 2002; Angeli & Cantonati 2005; Cantonati & Angeli 2003; Cantonati *et al.* 2004; Scola 2004; Scola *et al.* 2004).

In molte carote prelevate nel Lago di Tovel non è stato possibile rinvenire diatomee, a causa di due distinti fattori. Nelle carote prelevate nel Bacino Principale è stata spesso osservata una marcata dissoluzione delle valve, che apparivano solitamente con i bordi corrosi e la superficie tanto assottigliata da risultare quasi trasparente. La dissoluzione delle valve di diatomee si manifesta infatti tipicamente con degradazione dei bordi delle valve e allargamento delle areole e delle strie (Straub 1993). Secondo Flower (1993) e Barker (1994) un pH elevato dell'acqua sa-

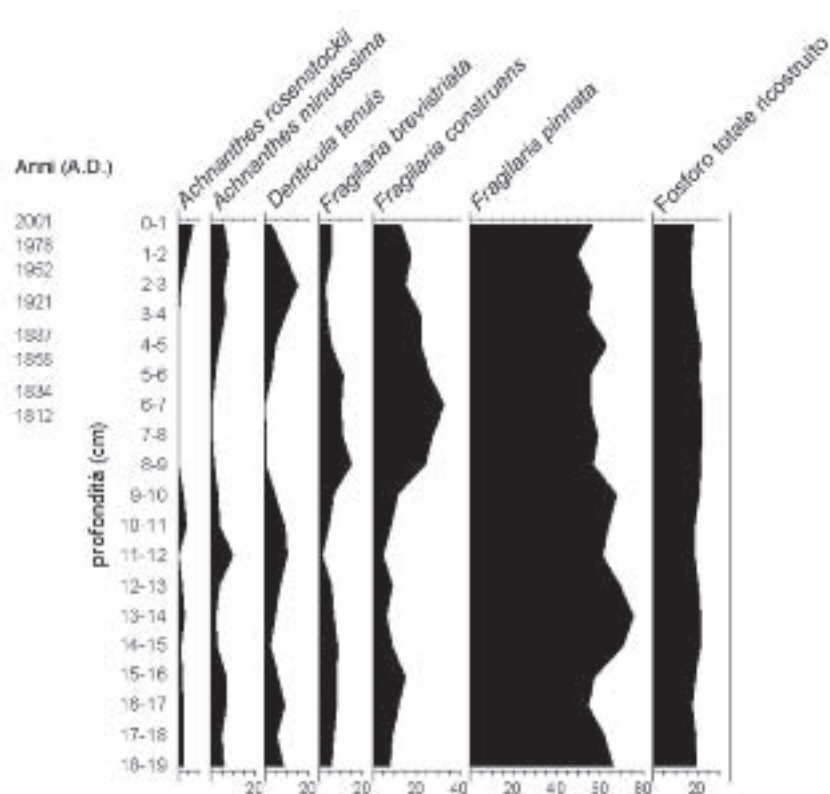


Fig. 8 - Profilo stratigrafico della tafocenosi a diatomee rinvenuta nella carota di sedimento TOV01-1V e ricostruzione del fosforo totale dalle diatomee.

Fig. 8 - Diatom percentage profile for core TOV01-1V and diatom inferred total phosphorus.

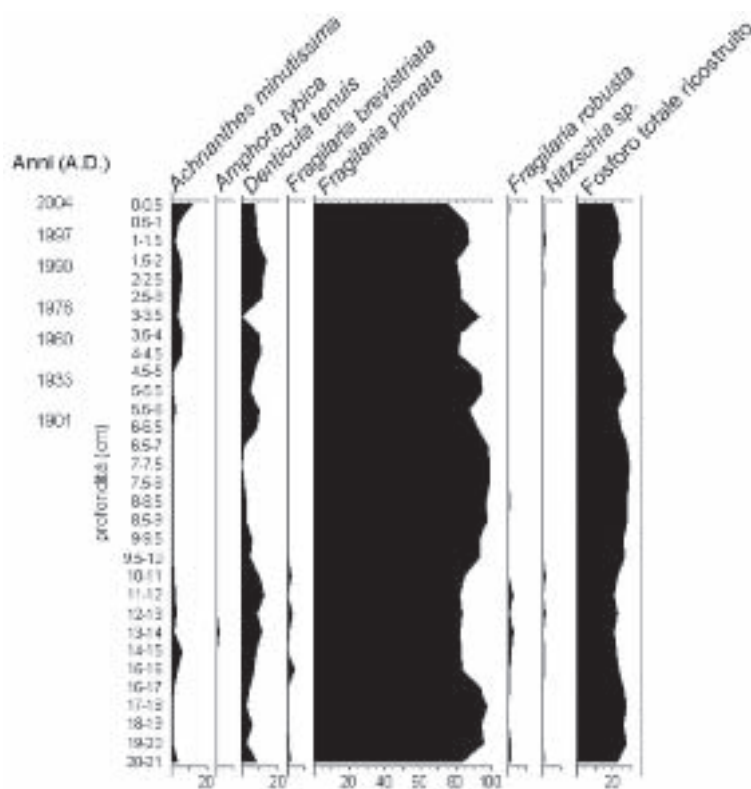


Fig. 9 - Profilo stratigrafico della tafocenosi a diatomee rinvenuta nella carota di sedimento TOV04-RB3 e ricostruzione del fosforo totale dalle diatomee.

Fig. 9 - Diatom percentage profile for core TOV04-RB3 and diatom inferred total phosphorus.

rebbe il fattore maggiormente responsabile di questo fenomeno. Inoltre, sembra che i laghi meromittici siano ambienti particolari, in cui la preservazione delle diatomee è spesso scarsa (Meriläinen 1971). Si può quindi intuire come la dissoluzione delle valve di diatomee rappresenti un potenziale problema nel campo paleolimnologico e paleoecologico (Flower 1993; Barker 1994). Nella Baia Rossa, d'altro canto, la periodica esposizione dei sedimenti a minore profondità agli agenti atmosferici nel periodo invernale-primaverile, dovuta al forte abbassamento del livello del lago, sembra essere responsabile della rottura di gran parte delle valve di diatomee, così che le valve più robuste, come quelle di *Fragilaria pinnata*, risultano meglio conservate. In questo caso non solo abbiamo una conservazione selettiva delle valve, ma l'ambiente deposizionale stesso della Baia Rossa risulta poco adatto a studi sedimentologici.

I fenomeni di dissoluzione (Bacino Principale) e rottura delle valve (Baia Rossa) potrebbero in alcuni casi aver alterato la composizione delle tafocenosi e quindi le ricostruzioni ambientali. Inoltre, il fatto che nel Lago di Tovel, che è un lago oligotrofo molto trasparente, vi sia una netta dominanza di taxa bentonici rispetto a quelli planctonici, impone una particolare attenzione e cautela nell'uso delle diatomee come migliore gruppo per la ricostruzione paleoambientale delle caratteristiche del volume d'acqua (e non dell'ambiente bentonico) e nell'interpretazione dei dati ottenuti da queste.

In base alle analisi delle tafocenosi a diatomee compiute sulle cinque carote di sedimento, è stato possibile ricostruire lo stato trofico del bacino principale del Lago di Tovel (espresso in concentrazione di fosforo totale), mostrando come questo sia rimasto nel complesso compatibile con una situazione di oligotrofia / oligo-mesotrofia del lago confrontabile con quella attuale (Tolotti *et al.* 2006a). Anche i valori di fosforo totale superiori nella Baia Rossa rispetto a quelli registrati nel Bacino Principale, ottenuti dall'analisi delle carote raccolte nella Baia Rossa (TOV04-RB3) e in sua prossimità (TOV01-1V e TOV03-19), sono compatibili con quanto riscontrato negli anni recenti (Corradini & Boscaini 2006).

Le analisi delle tafocenosi a diatomee delle carote prelevate nel Bacino Principale (TOV03-3 e TOV01-5) hanno permesso di acquisire indicazioni importanti circa la passata competizione per la Si (silice) da parte di *Fragilaria tenera* e *Cyclotella comensis minima* e, indirettamente, sulla loro possibile competizione per il P (fosforo) con il *Glenodinium sanguineum*. Nel periodo successivo alla scomparsa dell'arrossamento delle acque del lago, corrispondente ai primi 3 cm delle carote, si osserva infatti una marcata diminuzione di *Fragilaria tenera* e un aumento di *Cyclotella* spp. Questo si presterebbe, in base a indicazioni della letteratura scientifica, alle seguenti due interpretazioni:

a) il cambiamento del rapporto Fragilariaceae/Centrales è regolato primariamente dal rapporto Si:P (Tilman & Kilham, 1976): Kilham (1986) asserisce infatti che le Fragilariaceae sono dominanti quando il P è il fattore limitante; b) in base a esperimenti di arricchimento con P condotti in *enclosures* al Lago di Tovel è emerso che, al di sotto di certe concentrazioni di Si disciolta, la specie *Fragilaria tenera* diminuisce drasticamente e quindi *Glenodinium* è fortemente avvantaggiato nella competizione per il P (Spitale *et al.* 2005). L'aumento di *Fragilaria tenera*, corrispondente a una diminuzione di *Cyclotella* nei primi 3 cm delle carote TOV03-3 e TOV01-5 (Fig. 5-6), potrebbe così suggerire un periodo di alcuni decenni (post-arrossamento) caratterizzato da precipitazioni primaverili estive più frequenti (Paganelli *et al.* 1981), da maggior dilavamento e quindi potenzialmente da maggior ingresso di Si nel lago (Israde *com. pers.*; Tolotti *et al.* 2006b).

In base allo studio delle tafocenosi a diatomee delle carote di sedimento del Lago di Tovel, possiamo quindi concludere che l'input di fosforo che causava la massiccia fioritura di dinoflagellati e l'arrossamento (Dodge 1970; Paganelli 1992; Vittori *com. pers.*) non era così elevato e persistente da alterare le comunità a diatomee viventi nel Bacino Principale. Eventuali indicazioni di questo influsso sono eventualmente ravvisabili nella Baia Rossa (trofismo più alto, ma ambiente deposizionale complesso). Questo risultato concorda con le indicazioni di altri studi che confermano come il carattere oligotrofo del bacino del lago si sia mantenuto tale nel tempo (si veda per esempio lo studio sulle capsule cefaliche dei chironomidi, Lencioni & Lazzara 2006), ma anche come la Baia Rossa rappresenti una sorta di sotto-sistema del Lago di Tovel dotato di caratteristiche specifiche (si veda per esempio Corradini & Boscaini 2006; Tolotti *et al.* 2006b). Questo studio può quindi contribuire a confermare che la Baia Rossa era la parte del lago più adatta, per conformazione morfologica, idrologia e disponibilità di nutrienti, a ospitare il fenomeno delle fioriture di dinoflagellati.

RINGRAZIAMENTI

Il presente studio fa parte della ricerca SALTO (Studio sul mancato Arrossamento del Lago di Tovel) finanziata dalla Provincia Autonoma di Trento. Si ringraziano il dott. Marco Cantonati per gli utili suggerimenti durante tutto il corso della ricerca e nella stesura del presente lavoro e la dott. Monica Tolotti per la rilettura critica del manoscritto. Si ringraziano inoltre il dott. Wolfram Scheffler (Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V. Abteilung Geschichteter Seen, Germania), la dott. Hedy Kling

(Freshwater Institute, Winnipeg, Manitoba, Canada) e il prof. Eugen Rott (Istituto di Botanica, Università di Innsbruck, Austria) per la conferma dell'identificazione di alcune diatomee centriche subfossili di Tovel.

BIBLIOGRAFIA

- Angeli N., 2006 - *Ricostruzioni paleoecologiche tramite l'analisi di diatomee subfossili in sedimenti di laghi del Trentino*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Discipline Ecologiche e Ambientali, XVII Ciclo, Università di Parma: 77 pp.
- Angeli N. & Cantonati M., 2005 - Depth-distribution of surface sediment diatoms in Lake Tovel (Italian Alps, 1178 m a.s.l.). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29: 539-544.
- Angeli N., Cantonati M., Rossetti G. & Scola S., 2002 - Un originale apporto per una conoscenza dettagliata della biodiversità delle diatomee bentoniche del Lago di Tovel (Riserva speciale del Parco Naturale Adamello-Brenta). Convegno Le zone umide in Italia: esperienze di ricerca e gestione. Parma, 27-29 giugno 2002. *Abstract book*: 25.
- Appleby P.G. & Piliposian G.T., 2006 - Datazione radiometrica (^{210}Pb e ^{137}Cs) di carote di sedimento del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81, Suppl. 2: 89-95.
- Arzet K., 1987 - *Diatomeen als pH-Indikatoren in subrezentzen Sedimenten von Weichwasserseen*. Dissertation Abteilung Limnologie, Universität Innsbruck, 24: 1-266.
- Baldi E., 1941 - Ricerche idrobiologiche sul lago di Tovel. *Mem. Mus. St. Nat. Ven. Tr.*, 6: 1-297.
- Barker P., 1994 - Experimental dissolution of diatom silica in concentrated salt solutions and implications for paleoenvironmental reconstruction. *Limnol. Oceanogr.*, 39 (1): 99-110.
- Baroni C., Bruschi G., Veronese L. & Zanchetta G., 2001 - Younger Dryas to Early Holocene paleoenvironmental evolution of the Lake Terlago (Southern Alps, Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 1, vol. 24: 13-24
- Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J., Cameron N.G., Bennion H., Carvalho L. & Juggins S., 2001 - *Diatoms*. In: Smol J.P., Birks H.J. & Last W.M. (eds), *Tracking Environmental change Using Lake Sediment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Vol. 3: 155-202.
- Cantonati M. & Angeli N., 2003 - News findings on the ecology and ultrastructure of *Cymbella ancylus* Cleve. *Diatom Research*, 18 (2): 377-384.
- Cantonati M., Scola S., Angeli N., Frassanito R. & Guella G., 2004 - Distribution along a depth gradient of the periphyton in a mountain lake characterized by marked water level fluctuations. XXIX SIL Congress - The International Congress of Limnology 8-14 Aug 2004, Lahti, Finland. *Abstract book*.
- Corradini F. & Boscaini A., 2006 - Fisica e chimica delle acque del Lago di Tovel (Alpi centrali). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 307-326.
- Dell'Uomo A. & Masi M.A., 1988 - Studio floristico-ecologico delle diatomee del Lago di Tovel (Nord Italia). *Riv. Idrobiol.*, 27: 317-348.
- Dell'Uomo A. & Pedrotti F., 1982 - Le phytobenthos de la zone eulittorale du Lac de Tovel (Trentin, Italie du Nord). *Cryptogamie: Algologie*, III (2): 129-146.
- Dodge J., 1970 - Report of limnological investigation of Lake Tovel (Trentino N. Italy) *Studi Trent. Sci. Nat.*, 47: 91-94.
- Flower J.R., 1993 - Diatom preservation: experiments and observations on dissolution and breakage in modern fossil material. *Hydrobiologia*, 269/270: 473-484.
- Guilizzoni, P., Lami A. & Masafferro J., 1992 - Indagini paleolimnologiche sul Lago di Tovel (Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 67: 53-98.
- Hall R.I. & Smol J.P., 1999 - Diatoms as indicators of lake eutrophication. In: Stoermer E.F. & Smol J.P. (eds), *The diatoms: application for the environmental and earth sciences*. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 183-202.
- Juggins S., 2003 - *C2 User guide. Software for ecological and paleoecological data analysis and visualisation*. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne (UK): 69 pp.
- Kilham S., 1986 - Dynamics of Lake Michigan natural phytoplankton communities in a continuous cultures along a Si:P loading gradient. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 351-360.
- Krammer K., 2000-2003 - *Diatoms of Europe*. The genus *Pinnularia*, 1: 703 pp.; *Cymbella*, 3: 584 pp.; *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*, 4: 530 pp. Lange Bertalot, A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1986-1991 - *Bacillariophyceae. Naviculaceae*, 2/1: 876 pp.; *Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*, 2/2: 596 pp.; *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*, 2/3: 576 pp.; *Achnantheaceae*, 2/4: 437 pp. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. G. Fisher, Stuttgart, New York.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 2004 - *Bacillariophyceae. Achnantheaceae*, 2/4: 468 pp. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. G. Fisher, Stuttgart, New York.
- 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. Paleolimnol.*, 34: 325-337.
- Kulbe T., Anselmetti F., Cantonati M. & Sturm M., 2006 - Drastiche variazioni di livello ed evoluzione sedimentaria nel Lago di Tovel (Parco Naturale Adamello-Brenta, Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 75-87.
- Lami, A., Guilizzoni P. & Masafferro J., 1991 - Record of fossil pigments in an alpine lake (L. Tovel, N. Italy). *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 49: 117-126.
- Largaiolli V., 1905 - Le diatomee del Trentino. XX Lago di Tovel. *Tridentum*, 8 (2): 73-79.
- Largaiolli V., 1906 - Le diatomee del Trentino. Ancora i Laghi di Lavarone e Tovel. *Tridentum*, 8 (8-9-10): 384-386.
- Lencioni V. & Lazzara M., 2006 - I chironomidi subfossili (Diptera: Chironomidae) del Lago di Tovel (Trentino,

- Alpi centro-orientali): uno sguardo agli ultimi 400 anni. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 155-165.
- Lotter A.F., Birks H.J.B., Hofmann W. & Marchetto A., 1997 - Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *J. Paleolimnol.*, 18: 395-420.
- Marchesoni V., 1941 - Sulla posizione sistematica del *Glenodinium sanguineum* March. determinante l'arrossamento del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat.*, 1: 11-18.
- Marchetto A. & Schmidt R., 1993 - A regional calibration data set to infer lake water pH from sediment diatom assemblages in alpine lakes. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 51: 115-125.
- Meriläinen J., 1971 - The recent sedimentation of diatom frustules in four meromictic lakes. *An. Bot. Fennici*, 8: 160-176.
- Paganelli A., 1992 - Lake Tovel (Trentino): limnological and hydrobiological aspects. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 50: 225-257.
- Paganelli A., Cordella P., Trevisan R. & Cappelletti E.M., 1981 - Il lago di Tovel (Trento) e sue modificazioni ambientali. *Atti del I Congr. Naz. Soc. It. Ecol., Salsomaggiore Terme (PR), 21-24 ottobre 1980*. Ed. Zara: 87-93.
- Pienitz R., Smol J.P. & Birks H.J.B., 1995 - Assessment of freshwater diatoms as quantitative indicators of past climatic change in the Yukon and Northwest Territories, Canada. *J. Paleolimnol.*, 13: 21-49.
- Reed J.M., 1998 - A diatom-conductivity transfer function for Spanish salt lakes. *J. Paleolimnol.*, 19: 399-416.
- Scheffler W. & Morabito G., 2003 - Topical observations on centric diatoms (Bacillariophyceae, Centrales) of Lake Como (N. Italy). *J. Limnol.*, 62: 41-46.
- Scola S., 2004 - *Distribuzione lungo un gradiente di profondità dei popolamenti vitali di diatomee epilitiche nel lago di Tovel (Parco Naturale Adamello-Brenta, Trentino)*. Tesi di laurea in Biologia, Università di Parma: 120 pp.
- Scola S., Angeli N., Cantonati M. & Rossetti G., 2004 - Depth-distribution of living benthic diatoms in a mountain lake. 18. *Treffen deutschsprachiger Diatomologen (DDT) 26-28 März 2004 in Iffeldorf*.
- Spitale D., Tardio M. & Cantonati M., 2005 - Competition between a planktonic diatom and a dinoflagellate during enclosure experiments in a mountain lake. *Phycologia*, 44 (3): 320-327.
- Straub F., 1993 - Diatoms and their preservation in the sediments of Lake Neuchatel (Switzerland) as evidence of past hydrological changes. *Hydrobiologia*, 269/270: 167-178.
- Tilman D. & Kilham S.S., 1976 - Phosphate and silicate growth and uptake kinetics of diatoms *Asterionella formosa* and *Cyclotella meneghiniana* in batch and semicontinuous culture. *J. Phycol.*, 12: 375-383.
- Tolotti M., Calliari D. & Corradini F., 2006a - Variabilità interannuale del fitoplancton del Lago di Tovel (Trentino, Italia). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 327-340.
- Tolotti M., Calliari D., Boscaini A. & Corradini F., 2006b - Weather driver phenology of planktonic diatoms in the alpine lake Tovel (Italy). *Hydrobiologia*, (in press).
- Wunsam S. & Schmidt R., 1995 - A diatom-phosphorus transfer function for Alpine and pre-alpine lakes. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 53: 85-100.