

## La ricostruzione del trofismo del Lago di Lavarone dalle diatomee

Nicola ANGELI<sup>1</sup>\* & André F. LOTTER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sezione di Limnologia e Algologia, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Via Calepina 14, 38100 Trento, Italia

<sup>2</sup> Institute of Environmental Biology, Faculty of Science, Utrecht University, Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, The Netherlands

\*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: [angeli@mtsn.tn.it](mailto:angeli@mtsn.tn.it)

**RIASSUNTO** - *La ricostruzione del trofismo del Lago di Lavarone dalle diatomee* - Oggetto principale di questo lavoro è lo studio delle associazioni subfossili a diatomee di sedimenti del Lago di Lavarone (Provincia di Trento, Nord Italia). 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 sono stati ricostruiti i principali parametri ambientali, come ad esempio il fosforo totale. Lo studio della tafocenosi a diatomee del Lago di Lavarone ha confermato come lo stato trofico (fosforo totale) del lago sia rimasto simile all'attuale ovvero prossimo a una situazione di mesotrofia, meso-eutrofia, nonostante la presenza di fenomeni di eutrofizzazione recenti e passati.

**SUMMARY** - *Lago di Lavarone trophic reconstruction from diatoms* - This study focussed on diatoms assemblages from sediment cores taken in Lago di Lavarone (Trento Province, northern Italy). Diatom analyses were carried out on sediment cores taken with gravity and piston cores. Relative diatom abundance was calculated and environmental factors such as total phosphorus were reconstructed. The study of diatom assemblages of Lago di Lavarone indicates a trophic status quite similar to the present day conditions, mesotrophic, meso-eutrophic situation in spite of recent and past regional eutrophication.

*Parole chiave:* Lago di Lavarone, ricostruzione del trofismo, eutrofizzazione, diatomee subfossili

*Key words:* Lago di Lavarone, trophic reconstruction, eutrophication, subfossil diatoms

### 1. INTRODUZIONE

Il termine eutrofizzazione viene usato per indicare l'arricchimento dei sistemi acquatici da parte di nutrienti vegetali inorganici, quali azoto e fosforo, che determina un aumento della loro produttività (Wetzel 1983). Generalmente, le cause di questo fenomeno possono essere naturali o dovute a un disturbo da parte delle attività dell'uomo (eutrofizzazione antropogenica o culturale). Gli eventi di eutrofizzazione naturale sono piuttosto rari e attribuibili a episodi drammatici quali per esempio incendi boschivi (Hickman *et al.* 1990 in Stoermer & Smol 1999) oppure cambiamenti climatici che determinano possibili aumenti di nutrienti nelle acque sotterranee (Webster *et al.* 1996 in Stoermer & Smol 1999). Nella maggior parte dei casi, tuttavia, i problemi di eutrofizzazione delle acque sono determinati da input di nutrienti provenienti da attività agricole, erosione del suolo, scarichi domestici e industriali legati alla presenza antropica.

L'eutrofizzazione è sicuramente la forma più diffusa di inquinamento delle acque su scala globale e, oltre

ad aumentare la produzione primaria degli ecosistemi acquatici, provoca dei cambiamenti considerevoli a livello di cicli biogeochimici e nelle comunità biologiche, con perdita della loro biodiversità (Tilman 1982; Williams 1964). Tra gli effetti secondari dell'eutrofizzazione possiamo ricordare la diminuzione dell'ossigeno disciolto nelle acque profonde e il conseguente instaurarsi di fenomeni anaerobici nell'ipolimnio durante tutto il periodo di stratificazione delle acque; tale situazione determina, a sua volta, un impoverimento o, in casi estremi, la scomparsa della fauna bentonica della zona (Wetzel 1983). In molte regioni del mondo le attività umane hanno influenzato gli ecosistemi lacustri su scale temporali molto estese (secoli-millenni), mentre in altre gli impatti sono molto più recenti (ultimi 50-150 anni; Marchetto *et al.* 2004).

In ogni caso, i laghi sono in grado di accumulare nei loro sedimenti molte informazioni sia biologiche sia chimiche, che possono essere usate per ricostruire la loro storia (Filippi & Festi 2007).

Uno di questi indicatori è dato dalle diatomee, un gruppo di alghe molto rilevante nella struttura e nel

funzionamento delle catene alimentari, dal momento che costituisce un'importante fonte di cibo per gli erbivori (Round *et al.* 1990 in Stoermer & Smol 1999). La risposta delle diatomee ai fenomeni di eutrofizzazione può quindi avere conseguenze anche considerevoli per le altre componenti dell'ecosistema acquatico. La possibilità di operare delle determinazioni sui loro resti subfossili depositatisi nei sedimenti le rende così di particolare interesse per gli studi paleolimnologici.

Sebbene le diatomee mostrino, a livello collettivo, un ampio campo di tolleranze lungo un gradiente di produttività, le singole specie sono legate ad habitat specifici e hanno precise esigenze per quanto riguarda i parametri chimici delle acque (Patrick & Reimer 1966; Round *et al.* 1990; Werner 1977 in Stoermer & Smol 1999). Inoltre, vi sono distinte comunità di diatomee viventi per esempio nelle acque libere dei laghi (plankton), sulla superficie dei loro sedimenti (epilithon), sulla superficie delle rocce (epilithon), sulla vegetazione sommersa (epiphyton) e nella zona litorale, che possono essere usate per ricostruire cambiamenti nella produzione algale da litorale a planctonica ed eventuali diminuzioni della vegetazione macrofitica durante i periodi di eutrofizzazione. Le diatomee sono molto utili negli studi di eutrofizzazione lacustre, in quanto le singole specie sono molto sensibili ai cambiamenti nella concentrazione di nutrienti (Tilman 1977; Tilman *et al.* 1982), con optima e tolleranze molto specifici. Rappresentano, quindi, un ottimo strumento per quantificare i cambiamenti ambientali che accompagnano l'eutrofizzazione e il suo ripristino.

Inoltre, la tassonomia delle diatomee è ben documentata (Krammer & Lange-Bertalot 1986-1991; Krammer & Lange-Bertalot 2004; Krammer 2000-2003) e il loro riconoscimento è essenzialmente morfologico; infine, le loro valve di silicio (Si) solitamente si conservano molto bene nei sedimenti. Prelevando delle carote di sedimento e analizzando le associazioni sub-fossili a diatomee è quindi possibile ricostruire le passate condizioni ambientali attraverso tecniche paleolimnologiche.

Scopo del presente contributo è quello di ricostruire, proprio attraverso l'applicazione di tecniche paleolimnologiche, l'evoluzione del trofismo delle acque del Lago di Lavarone, esaminando le tafocenosi a diatomee durante tutto il record sedimentario nel quale esse sono presenti.

## 2. MATERIALI E METODI

Nell'ambito del progetto OLOAMBIENT, nel 2003 sono state prelevate alcune carote a gravità e a pistone in prossimità della zona più profonda del lago. La carota a gravità LA03\_S2, lunga 100 cm, è stata analizzata ad alta risoluzione nella sua parte superiore per le diatomee, utilizzando campioni prelevati ogni

centimetro fino alla profondità di 40 cm. Dettagli sulla datazione della parte recente della sequenza sedimentaria di Lavarone sono riportati nell'articolo di Arpentì & Filippi (2007).

Le carote a pistone LA03\_P1 e P2, lunghe circa 9,5 metri (Filippi *et al.* 2007), sono state analizzate con una maglia di campionamento di 5 cm fino a circa 5,5 m.

Tutte le carote sono state prelevate a centro lago, servendosi di una piattaforma galleggiante mobile (Ditta Uwitec, Mondsee, Austria). Inizialmente, sono state compiute analisi preliminari (ogni 30 cm circa) su tutta la lunghezza delle carote prelevate tramite carotiere a pistone, al fine di verificare la presenza e lo stato di conservazione delle diatomee.

I campioni di sedimento delle carote per l'analisi delle diatomee sono stati quindi preparati in un bagnomaria a caldo, aggiungendo perossido di idrogeno e acido cloridrico e, successivamente, sono stati lavati in centrifuga con acqua distillata.

È stata eseguita una preparazione quantitativa delle diatomee, pesando inizialmente una quantità nota di sedimento secco (circa 0,01 g) e aggiungendo alla fine con una micropipetta una quantità nota di microsferre di divinilbenzene (1 ml = 4.730.000 microsferre). Successivamente, si è provveduto a montare i campioni tramite resina ad alto indice di rifrazione (Naphrax<sup>®</sup>) su vetrini portaoggetti, osservandoli al microscopio ottico Zeiss Axioskop 2 *plus* a 1000 ingrandimenti e avendo cura di contare almeno 450 valve per vetrino portaoggetti.

Per l'elaborazione grafica e una prima analisi dei dati sono stati usati i programmi Tilia, Tiliagraph e Coniss (Grimm 1987). I valori di fosforo totale (TP) sono stati ricostruiti dalle associazioni subfossili di diatomee delle carote basandosi su un *training set* ottenuto da un gruppo di laghi (68) localizzati nelle Alpi Svizzere (Lotter 1989, 1998; Lotter *et al.* 1997a, 1997b, 1998). Per l'applicazione di questi *training sets* e delle relative *transfer functions* è stato utilizzato il programma C2 (Juggins 2003).

Per la determinazione delle specie di diatomee ci si è avvalsi delle seguenti chiavi di determinazione: Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991, 2004) e Krammer (2000-2003). Le specie più interessanti o che presentavano le maggiori difficoltà di identificazione sono state studiate e fotografate con il microscopio elettronico a scansione Zeiss Evo 40 del Museo Tridentino di Scienze Naturali.

## 3. RISULTATI

Il sedimento della carota a gravità LA 03 S2 è rappresentato nei suoi primi 40 cm (ultimi 700 anni circa) da una tafocenosi a diatomee planctonica, corrispondente a quella rinvenuta nelle carote a pistone (Filippi *et al.* 2007). I taxa di diatomee planctoni-

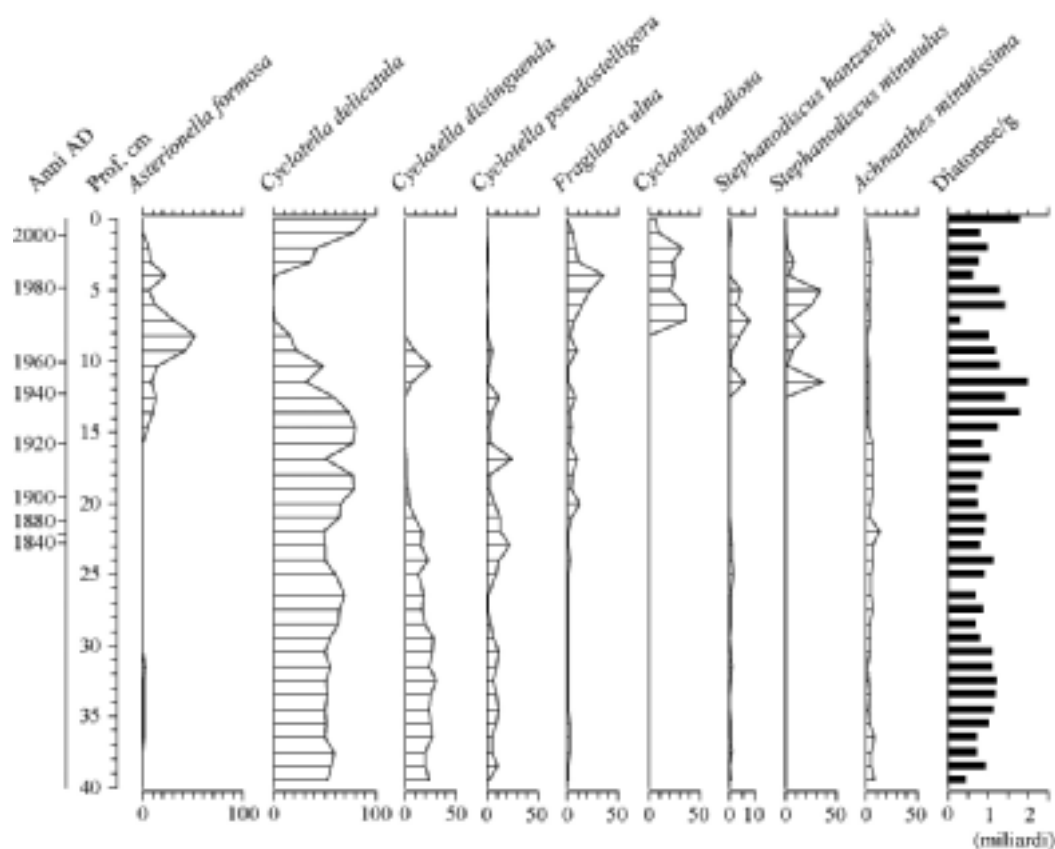


Fig. 1 - Variazioni con la profondità della tafocenosi a diatomee rinvenuta nella carota di sedimento "LA 03 S2".  
Fig.1 - Diatom diagram of core LA 03 S2.

che rinvenuti sono i seguenti: *Asterionella formosa* Hassal, *Cyclotella delicatula* Hustedt, *C. distinguenda* Hustedt, *C. pseudostelligera* Hustedt, *Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot, *Cyclotella radiosa* (Grunow) Lemmermann, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow e *S. minutulus* (Kützing) Cleve & Möller (Fig. 1). I taxa bentonici sono costituiti dalle specie *Achnanthes minutissima* Kützing, *A. rosenstockii* Lange-Bertalot, *A. zieglerei* Lange-Bertalot, *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow, *Cymbella microcephala* Grunow, *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow, *F. pinnata* Ehrenberg, *Navicula diluviana* Krasske e *Nitzschia* sp. Hassall. Le diatomee planctoniche superano sempre l'80% dell'abbondanza in specie.

Partendo dalla profondità di 40 cm della carota a gravità, è possibile distinguere le seguenti zone (Fig. 1):

- da 40 a circa 12 cm si nota un periodo relativamente stabile in cui la tafocenosi è costituita principalmente dalle specie *Cyclotella delicatula*, *C. distinguenda* e *C. pseudostelligera* e i valori di fosforo totale si attestano mediamente intorno ai  $26 \mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 2);
- da 12 a 3 cm si registra la comparsa prima di *Asterionella formosa* e poi di *Cyclotella radiosa*, *S. minutulus* e *S. hantzschii*, specie tipiche di ac-

que con trofismo più elevato (TP max=  $56,5 \mu\text{g l}^{-1}$  a 8 cm), mentre altre specie come *C. delicatula* e *C. distinguenda* diminuiscono fino a scomparire;

- da 3 cm fino alla superficie della carota si assiste a un parziale ripristino della situazione precedente l'eutrofizzazione, con un incremento di *Cyclotella delicatula* e valori di fosforo totale attestati intorno ai  $28 \mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 1-2). Il raffronto dei valori di fosforo totale, ricostruiti attraverso l'applicazione di un'apposita funzione di trasferimento per la tafocenosi a diatomee, tra la carota a gravità e la parte superficiale della carota a pistone ha mostrato un buon accordo tra gli stessi (Fig. 3).

L'analisi quantitativa delle tafocenosi a diatomee della carota a gravità ha permesso, inoltre, di risalire al tasso annuale di accumulo delle valve di diatomee ( $\text{n}^\circ \text{valve cm}^{-2} \text{anno}^{-1}$ ), evidenziando come questo sia aumentato dalla seconda metà dell'Ottocento ad oggi, con dei picchi localizzati intorno agli anni 1960 e 1980, parallelamente a un incremento dei valori di fosforo totale ricostruiti sulla base delle tafocenosi a diatomee.

L'analisi quantitativa delle tafocenosi a diatomee delle carote a pistone ha evidenziato una composizio-

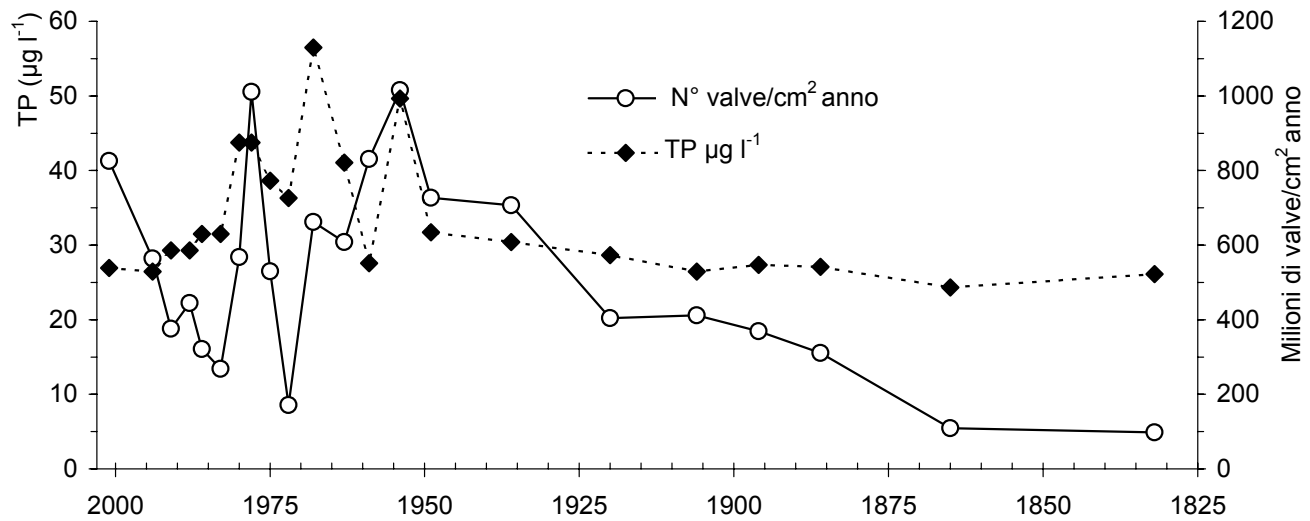


Fig. 2 - Variazioni nel tempo del tasso di accumulo di valve di diatomee ( $\text{n}^\circ$  valve  $\text{cm}^{-2}$   $\text{anno}^{-1}$ ) e delle concentrazioni di fosforo totale ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) stimate a partire dalla composizione della tafocenosi nella carota di sedimento LA 03 S2. Età stimata col metodo del  $^{210}\text{Pb}$  fino alla profondità di 23 cm.

Fig. 2 - Diatom accumulation rates (valves  $\text{cm}^{-2}$   $\text{year}^{-1}$ ) and diatom-inferred epilimnetic total phosphorus concentration ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) for sediment cores LA 03 S2. Estimated age with  $^{210}\text{Pb}$  until 23 cm depth.

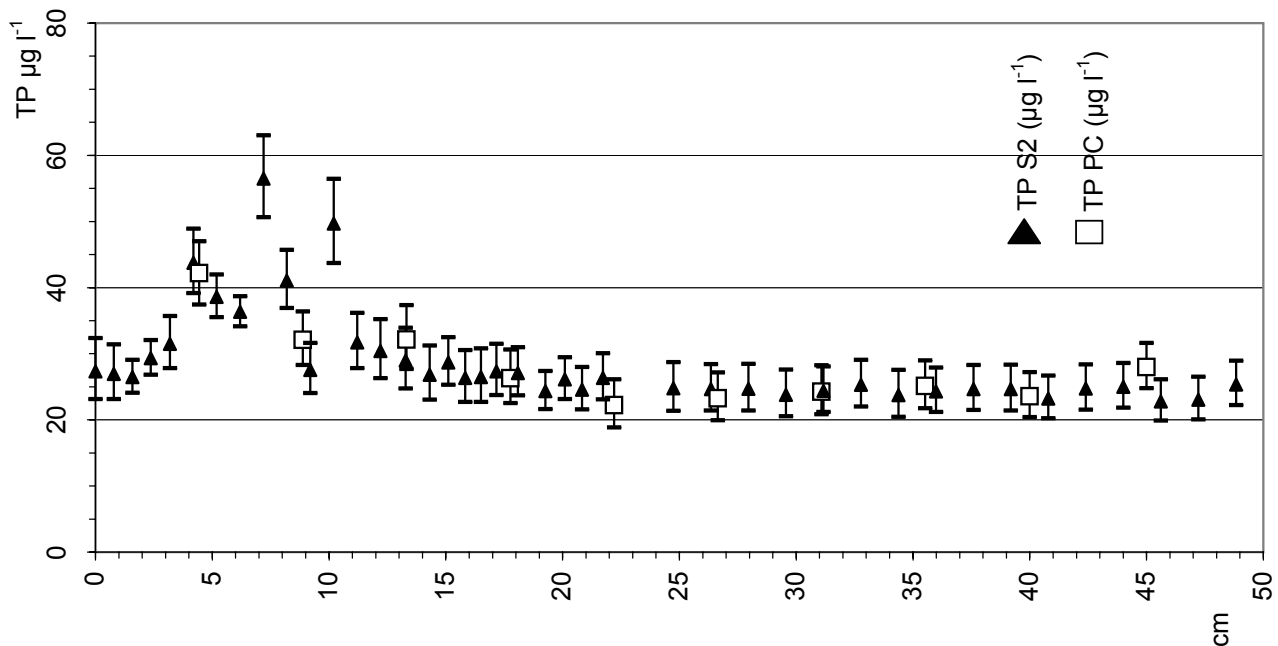


Fig. 3 - Comparazione delle concentrazioni di fosforo totale (TP,  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) stimate a partire dalla composizione della tafocenosi nelle carote a gravità LA 03 S2 (triangoli) e nel record superficiale delle carote a pistone LA 03 PC (quadrati). Scala di profondità (asse x) espressa in cm, errore standard quadratico medio espresso dalle linee.

Fig. 3 - Comparison of diatom-inferred total phosphorus concentrations (TP,  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) in cores LA 03 S2 (triangles) and the topmost record of piston core LA 03 PC (squares). Depth in cm, lines represent the mean squared error of TP prediction.

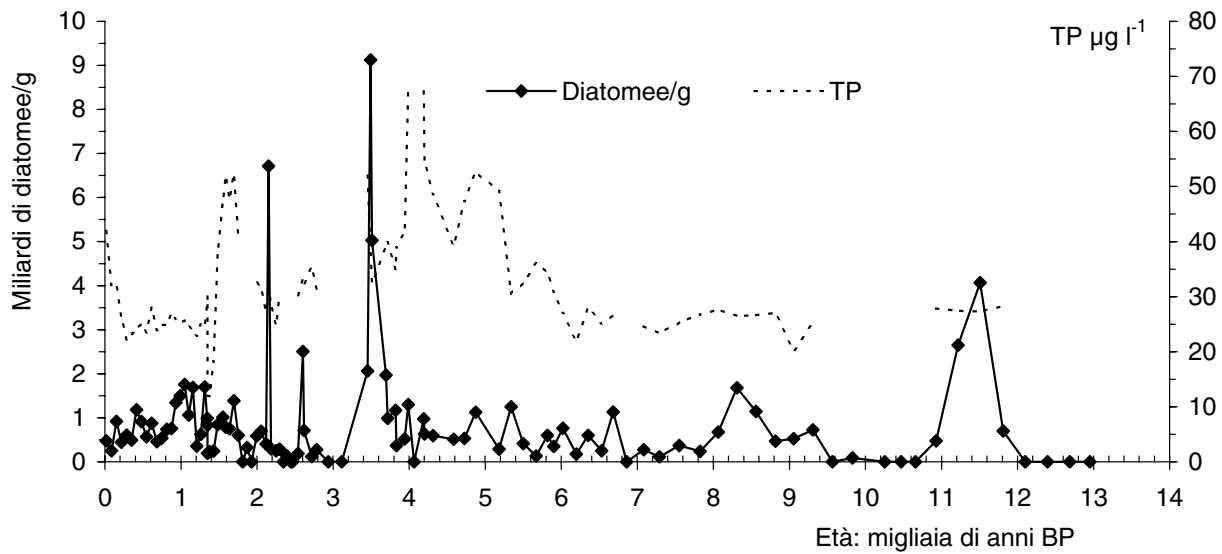


Fig. 4 - Variazioni nel tempo (anni BP) del numero di valve di diatomee grammo<sup>-1</sup> di sedimento secco e delle concentrazioni di fosforo totale (µg l<sup>-1</sup>) stimate a partire dalla composizione della tafocenosi nelle carote a pistone LA 03 P1 e P2 del Lago di Lavarone.

Fig. 4 - Changes of diatom concentrations (valves g<sup>-1</sup> dry sediment) and diatom-inferred epilimnetic total phosphorus concentrations (µg l<sup>-1</sup>) through time for Lago di Lavarone cores LA 03 P1 and P2.

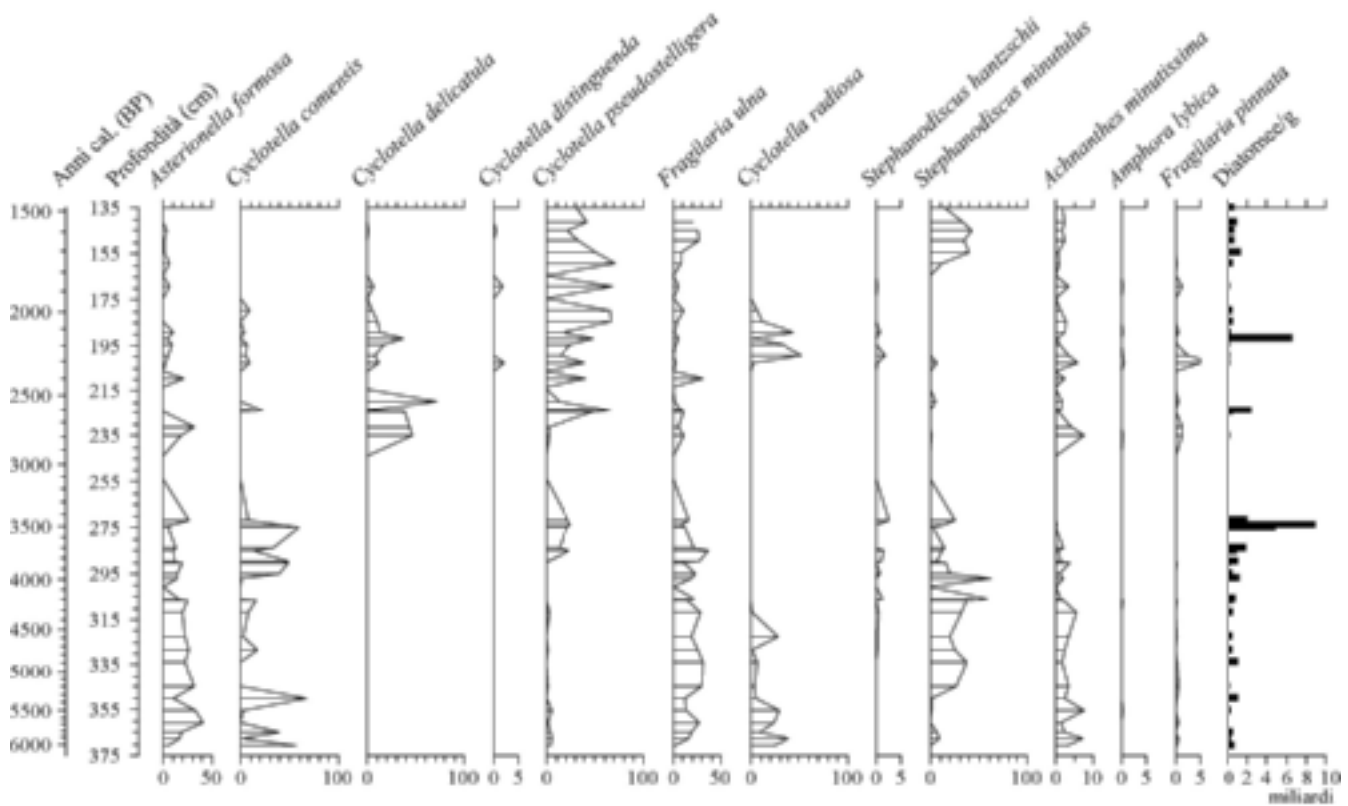


Fig. 5 - Variazioni con la profondità della tafocenosi a diatomee rinvenuta nelle carote a pistone LA 03 P1 e P2 del Lago di Lavarone.

Fig. 5 - Diatom percentage diagram for Lago di Lavarone piston cores LA 03 P1 and P2. Age estimates are based on <sup>14</sup>C.

ne in specie del tutto analoga a quella della carota a gravità e ha consentito di ricostruire l'andamento del trofismo (TP) e della concentrazione espressa come numero di valve su grammo di sedimento secco durante gli ultimi 13.000 anni di storia del lago (5,5 m di sedimento). Tale ricostruzione viene riportata in figura 4 e confrontata con l'andamento dei valori di fosforo totale ricostruiti dalle tafocenosi di diatomee. La concentrazione di diatomee su grammo di sedimento secco si attesta intorno a un valore medio di 880.000.000, mentre il fosforo totale intorno a un valore medio di 32  $\mu\text{g l}^{-1}$ ; tali dati permettono quindi di affermare che il Lago di Lavarone è stato caratterizzato per tutto l'Olocene da una condizione di mesotrofia.

Nel record delle carote a pistone sono stati anche individuati, oltre a quello recente meglio rappresentato nella carota a gravità, altri periodi di eutrofizzazione lacustri negli intervalli compresi tra 1500 e 2000 anni BP (135-180 cm circa) e tra 2600 e 6000 anni BP (220-370 cm circa) (Figg. 4-5), caratterizzati dalla abbondante presenza di specie che si sviluppano in acque con un basso rapporto Si:P e con scarsa intensità luminosa (Lund 1950; Tilman *et al.* 1982; Bradbury 1988; Kihlam *et al.* 1996) quali *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus minutulus* e *Cyclotella radiosa*, *Cyclotella pseudostelligera* e *Fragilaria ulna*.

#### 4. DISCUSSIONE

Grazie all'analisi quantitativa delle tafocenosi a diatomee, è stato possibile documentare con grande dettaglio, mediante i tassi di accumulazione delle diatomee stesse, il recente (anni '50-'80) fenomeno di eutrofizzazione antropica delle acque del lago e registrare un sensibile miglioramento dello stato trofico delle acque negli ultimi anni, che, tuttavia, non ha riproposto una composizione della associazioni simile a quella originaria.

L'analisi degli eventi sub-recenti di eutrofizzazione farebbe inizialmente pensare, vista anche la scala temporale assai estesa in cui questi si sono presentati, a fatti del tutto naturali; i fenomeni di eutrofizzazione antropica infatti si sviluppano nell'arco di pochi decenni (Lotter 2001), come è stato possibile osservare per il periodo recente.

Per quanto riguarda gli eventi passati (sub-recenti) di eutrofizzazione delle acque del Lago di Lavarone, localizzati in particolare tra 1500 e 2000 anni BP e 2600 e 6000 anni BP, è necessario prestare particolare attenzione alla loro interpretazione per via dei molteplici fattori che possono averli determinati. Bisogna infatti considerare le variazioni climatiche (in termini di temperatura e precipitazioni) intervenute nel corso dell'Olocene ed espresse come variazione dell'isotopo  $^{18}\text{O}$  contenuto nella calcite di speleotemi localizzati in un'area omogenea (versante SE delle Alpi) dal punto

di vista paleoclimatologico (Frisia *et al.* 2005; Bar-Matthews *et al.* 2003; Bar-Matthews & Ayalon 2004), le variazioni di livello dei laghi durante l'Olocene (Magny 2004), nonché la presenza di attività umana nel territorio limitrofo in base a evidenze paleoarcheologiche (Dallemule 2004; Bersani 2005).

In base a queste premesse, possiamo notare come il periodo compreso tra 1500-2000 anni BP, e dunque ricadente nell'età romana imperiale, sia stato caratterizzato da una graduale diminuzione della piovosità (Bar-Matthews *et al.* 2003; Bar-Matthews & Ayalon 2004), con valori tuttavia inferiori al record attuale; al tempo stesso si assiste a un abbassamento generale del livello dei laghi, con livelli minimi in corrispondenza di 1500 anni BP (Magny 2004), mentre le temperature risultano complessivamente simili o di poco inferiori a quelle attuali: si tratta infatti del massimo di temperature registrato nell'età romana (*Roman Warm Period*), localizzato tra 2400 e 2000 anni BP, e l'inizio della prima fase fredda, tra 1550 e 1300 anni BP (Frisia *et al.* 2005).

Il periodo compreso tra 2600 e 6000 anni BP, ricadente tra l'età del Bronzo antico e l'età del Rame, è stato caratterizzato da valori di piovosità mediamente superiori, ad eccezione di un minimo localizzato intorno a 5100 anni BP (Bar-Matthews *et al.* 2003), da temperature in crescita con minimi localizzati a 6000-6400, 4500 e 3000-2500 anni BP (Frisia *et al.* 2005), e da un abbassamento generale del livello dei laghi con dei massimi compresi tra 6000 e 5500 anni BP e intorno a 3000 anni BP.

Molteplici sono le possibilità di interpretazione che potremmo attribuire a questi due episodi sub-recenti di eutrofizzazione delle acque del Lago di Lavarone. Da una parte si potrebbe pensare all'influenza dell'uomo sul territorio della Provincia di Trento, per quei periodi ormai accertata (Dallemule 2004; Bersani 2005; Frisia com. pers.); tuttavia, l'esame pollinico (Arpenti & Filippi 2007) delle carote di sedimento non ha dimostrato un impatto antropico sul lago, come invece rilevato altrove per altri laghi. Dall'altra parte questi due periodi sono entrambi caratterizzati da un livello dei laghi mediamente basso e da temperature simili o superiori a quelle attuali, che possono aver favorito una naturale concentrazione dei nutrienti nel bacino lacustre e una loro maggior permanenza nel lago stesso. Potremmo quindi ipotizzare che vi possa essere stata un'influenza predominante di fattori naturali per quanto riguarda l'eutrofizzazione del lago, senza tuttavia escludere un impatto umano nell'area dell'Altopiano di Lavarone non immediatamente prossima al lago stesso.

Dopo aver visto come il lago sia stato interessato da molteplici fenomeni di eutrofizzazione, potremmo chiederci quale sia lo stato trofico naturale o di riferimento di un lago anche in vista della reale necessità di operare degli interventi di ripristino dello stato trofico delle acque del lago stesso.

Nel caso si prenda come stato teorico di riferimento il valore di  $39,2 \mu\text{g l}^{-1}$  – ottenuto dall'applicazione dell'Indice di Vighi & Chiaudani (1985), che permette di stimare lo stato trofico naturale in base al rapporto tra i valori di conducibilità media delle acque ( $290 \mu\text{Scm}^{-1}$ , Corradini com. pers.) e la profondità media del lago (7,4 m, Tomasi 2004) – è possibile notare come l'insieme dei dati ottenuti in base all'esame del record a diatomee recente e passato del Lago di Lavarone permetta di definire uno stato trofico delle acque mediamente intorno a una condizione di mesotrofia, di poco inferiore allo stato teorico e simile a quanto descritto nell'ultimo rapporto sulle condizioni attuali delle acque del lago (IASMA 1998) in cui si parla di meso-eutrofia.

Grazie all'analisi dettagliata delle associazioni subfossili a diatomee del Lago di Lavarone, è stato quindi possibile ricostruire le condizioni ambientali passate del lago attraverso l'utilizzo di specifiche tecniche paleolimnologiche: si è mostrato come da una parte il bacino lacustre sia stato interessato da diversi episodi di eutrofizzazione e dall'altra abbia avuto una buona capacità di ritornare a una condizione naturale molto vicina a quella teorica.

#### RINGRAZIAMENTI

Il presente studio fa parte della ricerca OLOAMBIENT (Risposte dell'ambiente e degli ecosistemi alla variabilità climatica dell'Olocene in Trentino basata su serie di dati-proxy da sedimenti lacustri, latte di monte e tufo calcareo) finanziata dalla Provincia Autonoma di Trento. Si ringraziano la dott.ssa Maria Letizia Filippi, la dott.ssa Silvia Frisia e il dott. Marco Cantonati per gli utili suggerimenti durante tutto il corso della ricerca, e il dott. Aldo Marchetto 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.ssa 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 Lavarone.

#### BIBLIOGRAFIA

- Arpenti & Filippi M.L., 2007 - Evoluzione della vegetazione nei pressi del Lago di Lavarone (TN) negli ultimi 2000 anni. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 317-324.
- Bar-Matthews M. & Ayalon A., 2004 - Evidence from speleothems isotopic records for abrupt climatic change and their impact on human settlements in the Eastern Mediterranean region. Atti del convegno "Dopo i ghiacci: rapidi cambiamenti climatici ricostruiti da stalagmite L'impatto sulle società nel Mediterraneo" (Trento, 16 dicembre 2004).
- Bar-Matthews M., Ayalon A., Gilmour M., Matthews A. & Hawkesworth C.J., 2003 - Sea land oxygen isotopic relationships from planktonic foraminifera and speleothems in the Eastern Mediterranean region and their implications for paleorainfall during interglacial intervals. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, Vol. 67, No 17: 3181-3199.
- Bersani M., 2005 - *Cambiamenti climatici nel territorio alpino dalla fine del bronzo medio, 1450-1350 a.C., al V secolo d.C.* Tesina Corso Paleontologia e Paleocologia, Mod. A, inedita. Università degli Studi di Trento, 16.
- Bradbury J.P., 1988 - A climatic-limnologic model of diatom succession for paleolimnological interpretation of varved sediments at Elk Lake, Minnesota. *J. Paleolimnol.*, 1: 115-131.
- Dallemule M., 2004 - *La Tor Quadra di Novaledo. Approccio paleoclimatologico allo studio di un manufatto medievale.* Tesina Corso Paleontologia e Paleocologia, Mod. A, inedita. Università degli Studi di Trento: 39 pp.
- Filippi M.L. & Festi, 2007 - Paleolimnologia in Trentino: metodi e stato dell'arte. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 85-99.
- Filippi M.L., Heiri O., Arpenti E., Angeli N., Bortolotti M., Lotter A.F. & van der Borg K., 2007 - Evoluzione paleoambientale dal Tardoglaciale a oggi ricostruita attraverso lo studio dei sedimenti del Lago di Lavarone (Altopiano di Folgaria e Lavarone, Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 279-298.
- Frisia S., Borsato A., Spötl C., Villa I.M. & Cucchi F., 2005 - Climate variability in the SE Alps of Italy over the past 17000 years reconstructed from a stalagmite record. *Boreas*, 34: 445-455.
- Grimm E.C., 1987 - CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analyses by the method of incremental sum of squares. *Comput. Geosci.*, 13: 13-21.
- Hickman M., Schweger C.E. & Klarer D.M., 1990 - Baptiste Lake, Alberta – a late Holocene history of changes in a lake and its catchment in the southern boreal forest. *Journ. of Paleolimn.*, 4:253-67.
- IASMA, 1998 - *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino*, (Rapporto): 37-42.
- Juggins S., 2003 - *C2 User guide. Software for ecological and paleoecological data analysis and visualisation.* University of Newcastle, Newcastle upon Tyne (UK): 69 pp.
- Khilam S., Theriot C. & Fritz S.C., 1996 - Linking planktonic diatoms and climate change in the large lakes of the Yellowstone ecosystem using resource theory. *Limnol. Oceanogr.*, 41 (5): 1051-1062.
- Krammer K., 2000-2003 - *Diatoms of Europe. Vol. 1. The genus Pinnularia: 703 pp.; Vol. 3. Cymbella: 584 pp.; Vol. 4. Cymboplectra, Delicata, Navicymbella, Gomphocymbellopsis, Afrocybella: 530 pp.* H. Lange Bertalot, A.R.G. Gantner Verlag K.G. Ruggell.

- Krammer K & Lange-Bertalot H., 1986-1991 - Süßwasserflora von Mitteleuropa. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds), 2/1. Bacillariophyceae. Naviculaceae: 876 pp.; 2/2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae: 596 pp.; 2/3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae: 576 pp.; 2/4. Achnanthaceae: 437 pp. G. Fisher, Stuttgart, New York.
- Krammer K & Lange-Bertalot H., 2004 - Süßwasserflora von Mitteleuropa. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds), 2/4. Bacillariophyceae. Achnanthaceae: 468 pp. G. Fisher, Stuttgart, New York.
- Lotter A.F., 1989 - Subfossil and modern diatom plankton and the paleolimnology of Rotsee (Switzerland) since 1850. *Aquat. Sci.*, 51: 338-350.
- Lotter A.F., 1998 - The recent eutrophication of Baldeggersee (Switzerland) as assessed by fossil diatom assemblages. *The Holocene*, 8: 395-405.
- Lotter A.F., 2001 - The effect of eutrophication on diatom diversity: examples from six Swiss lakes. In: Jahn R., Kociolek J.P., Witkowski A. & Compère P. (eds), Gantner, Ruggell: 417-432.
- Lotter A.F., Birks J.B., Hofmann W. & Marchetto A., 1997a - 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.
- Lotter A.F., Sturm M., Teranes J.L. & Wehrli B., 1997b - Varve formation since 1885 and high resolution varve analyses in hypertrophic Baldeggersee (Switzerland). *Aquat. Scien.*, 59, 304-325.
- Lotter A.F., Birks J.B., Hofmann W. & Marchetto A., 1998 - Modern diatom, cladocera, chironomid, and cyst assemblages quantitative indicators for thereconstruction of past environmental conditions in the Alps II. Nutrients. *J. Paleolimnol.*, 19: 443-463.
- Lund J.W.G., 1950 - Studies in *Asterionella* Hass. I. The origin and nature of the cells producing seasonal maxima. *J. Ecol.*, 38: 1-35.
- Magny M., 2004 - Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quat. Internat.*, 113: 65-79.
- Marchetto A., Lami A., Musazzi S., Masafferro J., Langone L. & Guilizzoni P., 2004 - Lake Maggiore (N. Italy) trophic history: fossil diatom, plant pigments, and chironomids, and comparison with long term limnological data. *Quat. Internat.*, 113: 97-110.
- Patrick R. & Reimer C., 1966 - *The diatoms of the United States*. Vol. 1. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA: 1-668.
- Round F.E., Crawford R.M. & Mann D.G., 1990 - *The Diatoms: Biology & Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge (UK): 747 pp.
- Tilman D., 1977 - Resource competition between planktonic algae: An experimental and theoretical approach. *Ecology*, 58: 338-48.
- Tilman D., 1982 - Resource competition and community structure. Princeton University Press, Princeton: pp.
- Tilman D., Kilham S. & Kihlam P., 1982 - Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. *Ann. Rev. of Ecol. and System.*, 13: 349-72.
- Tomasi G., 2004 - *I trecento Laghi del Trentino*. Artimedia-Temi, Trento: 535 pp.
- Vighi M. & Chiaudani G., 1985 - A simple method to estimate lake Phosphorous Concentrations resulting from Natural, Background loadings. *Water res.*, 19: 987-991.
- Webster K.E., Kratz T.K., Bowser C.J. & Magnusson J.J., 1996- The influence of landscape position on lake chemical responses to drought in northern Wisconsin. *Limnol. & Oceanogr.*, 41:977-84.
- Werner D. (ed.), 1977 - *The Biology of Diatoms*. Berkley, CA: University of California Press.
- Wetzel R.G., 1983 - *Limnology*. 2<sup>nd</sup> ed. CBS College publishing, New York (NY): 1006 pp.
- Williams J.G., 1964 - Possible relationships between plankton-diatom species numbers and water-quality estimates. *Ecology*, 45: 809-823.