La paleolimnologia: una scienza al confine tra geologia e paleontologia

Piero Guilizzoni*, Stefano Gerli

CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Verbania Pallanza

* *p.guilizzoni@ise.cnr.it*

LE RICERCHE PALEOLIMNOLOGICHE

I sedimenti di un lago sono, tra i depositi continentali, uno dei più completi e dettagliati archivi storici nei quali è documentata l'evoluzione temporale delle caratteristiche trofiche della conca lacustre e del clima della regione nella quale il lago si colloca.

La paleolimnologia è quella branca della limnologia che si occupa dello studio delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche degli ambienti lacustri nel passato. Essa è una disciplina al confine tra ecologia, geologia e paleontologia e la ricostruzione delle modificazioni nel tempo delle biocenosi acquatiche viene utilizzata per l'individuazione dei fattori ambientali che tali variazioni sottendono. Il presupposto della paleoecologia è che le leggi ecologiche che regolano i processi siano rimaste immutate nel tempo. In altre parole, uno dei fondamenti di questa disciplina, così come della geologia, è l'idea che il presente possa costituire la chiave per interpretare il passato (e , viceversa, "il presente sia figlio del passato") e che le caratteristiche geologiche della terra siano il risultato di processi tuttora in atto, teoria questa nota con il termine di *attualismo*.

Lo scopo di questo articolo è presentare sinteticamente alcuni esempi dell'attività svolta o in corso presso il CNR-ISE, in settori chiave della ricerca paleolimnologica e paleoclimatica. Obiettivo principale di questi studi è analizzare in dettaglio l'evoluzione temporale delle condizioni fisiche, chimiche e biologiche dei laghi e la variabilità climatica naturale a medio e a lungo termine attraverso lo studio di carote di sedimento. Al fine di realizzare questo obiettivo si utilizzano degli indicatori indiretti, denominati *proxy-records* nella letteratura specializzata, rappresentati da elementi o composti chimici e da resti di organismi viventi, la presenza dei quali sia relazionabile a precise condizioni ambientali. Come vedremo, essi vengono utilizzati come dei veri e propri traccianti, in grado di fornire indicazioni sulle condizioni passate di un lago.

OBIETTIVI PRINCIPALI DELLA RICERCA

Tra i principali obiettivi di queste ricerche vi è la ricostruzione nel tempo dei cambiamenti paleoambientali, quali per esempio le variazioni del livello trofico, attraverso lo studio delle comunità algali e animali (es. diatomee, crisoficee, organismi zooplanctonici, insetti chironomidi) del passato. In alcuni casi gli studi effettuati hanno permesso di mettere in evidenza l'esistenza di un legame ben preciso tra queste modificazioni ambientali e le due principali variazioni climatiche globali dell'ultimo millennio, vale a dire il "Caldo medioevale (900-1200 AD)" e la "Piccola Età Glaciale (1600-1850 AD)" (Lami *et al.*, 2000a).

In sintesi, due sono principalmente le domande che ci si pone:

1. è il recente riscaldamento un evento eccezionale oppure si colloca entro la variabilità naturale del sistema climatico?
2. È la recente eutrofizzazione del lago un fenomeno dovuto all'uomo e alle sue attività, oppure ci sono stati episodi analoghi anche in epoca storica e preistorica?

Gli esempi sotto riportati hanno lo scopo di mettere in luce alcuni di questi aspetti.

Nel corso dell'ultimo secolo predominano nettamente gli effetti sugli ecosistemi acquatici delle attività umane (impatto antropico, dovuto principalmente ad attività industriali e agricole) che hanno determinato un'accelerazione del processo naturale di eutrofizzazione, la comparsa del fenomeno dell'acidificazione delle acque lacustri e, in alcuni casi, una vera e propria contaminazione da elementi e composti tossici (es. pesticidi quali il DDT, metalli pesanti quali mercurio e cromo, e molti altri ancora). Gli effetti di queste alterazioni antropiche sono stati valutati attraverso indagini paleolimnologiche a partire dalle modificazioni ambientali osservate (Guilizzoni e Caldero-

NI, 2007).

Un altro aspetto molto importante emerso negli ultimi anni riguarda la Direttiva Quadro sulle Acque (Dir. 2000/60/CE) la quale prevede, per i corpi idrici da recuperare e da salvaguardare, la raccolta di informazioni di dettaglio sulle loro condizioni di riferimento, vale a dire prima della Rivoluzione Industriale del XIX secolo o, comunque, prima del pesante impatto antropico del XX secolo. Uno dei metodi impiegati a tale scopo è quello paleolimnologico. Sulla base delle conoscenze relative ai tempi più remoti, quando l'influenza antropica era minima, sarà poi possibile identificare meglio un livello trofico di base al quale si potrà fare riferimento per una corretta gestione del lago stesso.

A questo riguardo, risultati sorprendenti sull'impatto dell'uomo già in epoca neolitica sono stati ottenuti da una ricerca paleoclimatica e paleoambientale condotta nei laghi laziali di Albano e di Nemi (Progetto europeo PALICLAS, *Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments*; GUILIZZONI e OLDFIELD, 1996). Il gruppo di paleolimnologia del CNR-ISE si è occupato della parte relativa ai sedimenti lacustri e dei resti fossili in essi conservati. I depositi più antichi prelevati dal Lago di Albano risalivano a circa 30.000 anni fa e la carota di sedimento nel suo insieme copriva l'intero arco di vita del lago. Inoltre, lo studio da noi condotto ha rivelato aspetti interessanti delle variazioni ambientali e climatiche dell'Olocene (GUILIZZONI *et al.*, 2002; Fig. 1) e del tardo Pleistocene (GUILIZZONI *et al.*, 2000; Fig. 2) e, soprattutto, del periodo di freddo più intenso della glaciazione Würmiana, registrato tra 30.000 (quando il lago ebbe origine) e 16.000 anni fa (CHONDROGIANNI *et al.*, 2004). L'analisi di numerosi *pro-*

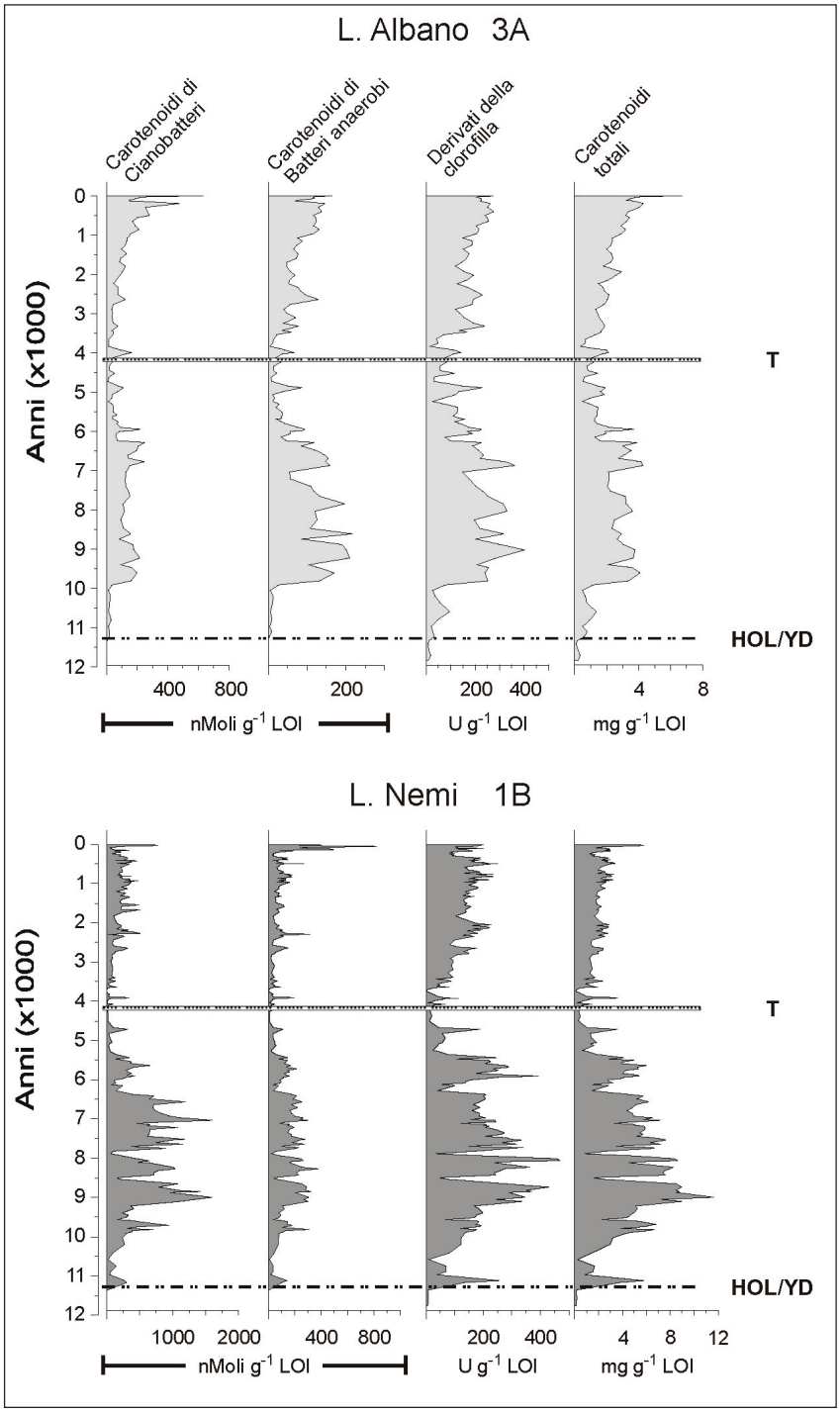

Fig. 1. Distribuzione temporale di pigmenti algali e batterici in due carote di sedimento dei laghi di Albano e Nemi: Il passaggio dal Pleistocene all'Olocene è rappresentato dalla linea tratteggiata HOL/YD. LOI= Loss On Ignition= sostanza organica totale; U= unità di pigmento clorofilliano, circa uguale a 1 mg (GUILIZZONI *et al.* 1983). Dai grafici è evidente come la produttività primaria dei due laghi fosse più elevata nella prima parte dell'Olocene, pur con molte oscillazioni, rispetto al periodo recente, con l'eccezione dei primissimi strati delle carote. Carote prelevate nel 1994. T= tefra di Avellino (GUILIZZONI e OLDFIELD, 1996).

xy records di temperatura e di precipitazione, quali per esempio l'isotopo stabile dell'ossigeno (^{18}O) in matrici calcaree e silicee, costituite dai gusci di organismi animali (ostracodi, foraminiferi), e vegetali (pigmenti e diatomee), le proprietà magnetiche del sedimento, la granulometria e la litologia dello stesso, pigmenti specifici di alghe e solfobatteri e granuli pollinici, hanno messo in chiara evidenza la teleconnessione tra la cosiddetta Oscillazione Nord Atlantica (NAO) e le variazioni climatiche dell'Italia centrale (CHONDROGIANNI *et al.*, 2004).

ALCUNI STUDI RECENTI

Le ricerche paleoambientali condotte presso il CNR-ISE ebbero inizio alla fine degli anni '70, quando la necessità di effettuare un'indagine limnologica comparata su 20 laghi lombardi offrì l'opportunità di ricostruire in modo quantitativo, per ambienti tra loro differenti, l'evoluzione del grado di trofia e della produzione primaria attraverso l'analisi di fossili biochimici quali i pigmenti clorofilliani e i carotenoidi conservati in carote di sedimento. Vari ambienti furono studiati, arrivando a ricostruirne, con un dettaglio ragguardevole, le condizioni trofiche e la produttività primaria originarie, o quanto meno, pre-industriali o pre-antropiche (quelle che oggi rappresentano, anche nella Direttiva europea sulle acque, le *pristine conditions*, ossia le condizioni di riferimento per eventuali interventi di risanamento dei corpi idrici). Per molti laghi si riuscì a ricostruire non solamente una sorta di "livello di base", ma anche una vera e propria "scheda identificativa" delle caratteristiche biologiche dei popolamenti animali e vegetali, ivi inclusa l'eventuale presenza di batteri anaerobi fotosintetici (GUILIZZONI *et al.*, 1982; 1983). Questo vecchio studio è stato da poco ripreso e riformulato su altre basi scientifiche (Fig. 3) proprio allo scopo di assolvere a quanto la direttiva europea chiede ai Paesi membri in termini di *reference conditions* (GUILIZZONI *et al.* e MARCHETTO *et al.*, inviati per la pubblicazione a *J. Paleolimnology*).

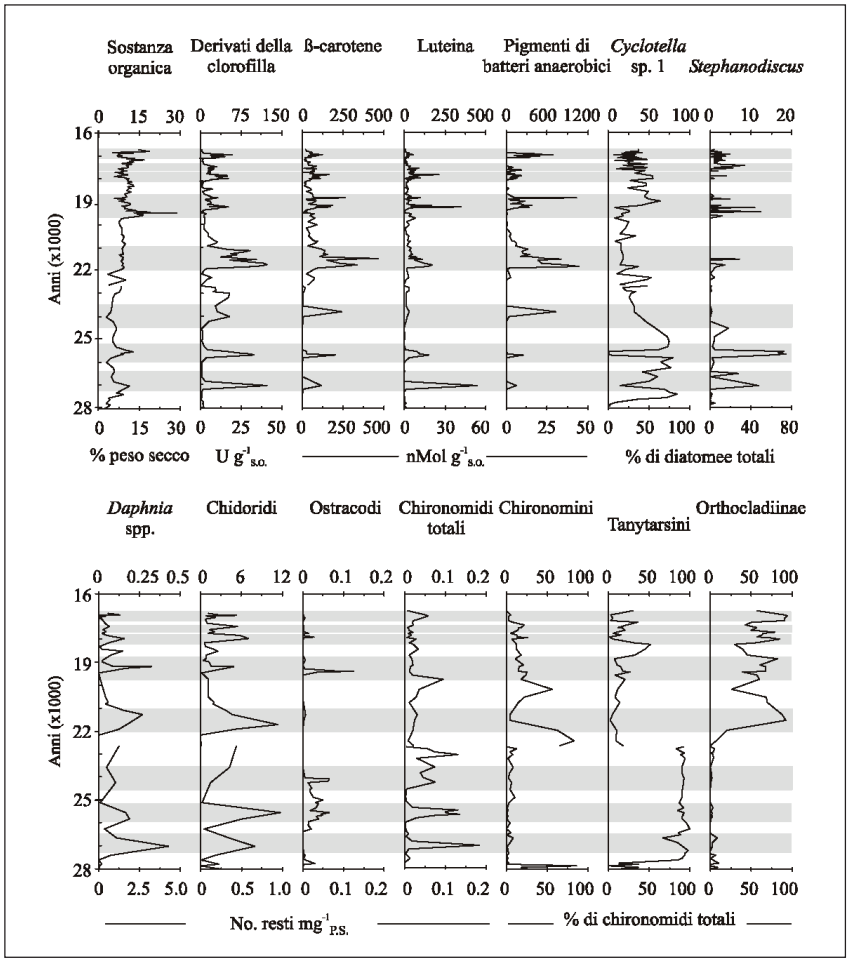

Fig. 2. Sono rappresentate otto fasi relativamente calde, di maggior produttività e di elevato livello lacustre (indicate in figura dalle aree ombreggiate) e inferite dalle oscillazioni di numerosi resti biologici misurati in una carota di sedimento del Lago di Albano che copre circa 12.000 anni di storia durante il periodo di massima glaciazione (GUILIZZONI *et al.*, 2000).

Un importante progetto Europeo, il Progetto EMERGE (*European Mountain lake Ecosystem: Regionalization, diaGnostics & socio-economic Evaluation*), ha riguardato principalmente la ricostruzione quantitativa in laghi di montagna di variazioni ambientali (temperatura, fosforo, pH) relazionabili all'inquinamento atmosferico e alle variazioni climatiche dell'ultimo secolo. Questa ricerca, iniziata nel 2000, è la continuazione di precedenti progetti sempre in parte finanziati dall'Unione Europea, che hanno permesso di ricostruire in dettaglio e su base quantitativa (principalmente utilizzando i resti fossili di diatomee ed i pigmenti algali), l'acidificazione dei corpi d'acqua d'alta quota delle Alpi a partire dal secolo scorso e fino ai giorni nostri (GUILIZZONI *et al.*, 2006a).

Sono state effettuate analisi

geochimiche e di pigmenti vegetali in sedimenti lacustri di ambienti lungo un transetto Nord-Sud che copre tutta l'Europa. Il progetto prevedeva, tra l'altro, la misura e la modellizzazione delle risposte dei laghi d'alta quota alle variazioni climatiche, su base stagionale, inter-annuale e decennale. Numerose pubblicazioni sono state prodotte nell'ambito di questa attività, la più recente delle quali è apparsa su un volume speciale interamente dedicato ai laghi alpini dell'Europa (Lami *et al.*, 2000b).

Per un numero elevato di laghi si è accertata l'esistenza di un processo di acidificazione che ha avuto inizio negli anni '50 (Marchetto *et al.*, 1997). È apparso subito chiaro che c'era una relazione stretta tra la diminuzione di pH delle acque e l'inizio delle immissioni in atmosfera di composti inquinanti di origine prevalentemente industriale. Infatti, vari indicatori sedimentari quali ad esempio la concentrazione di zolfo e soprattutto il numero di particelle carboniose –piccole sfere nere visibili al microscopio, originatesi dalla combustione di idrocarburi– han-

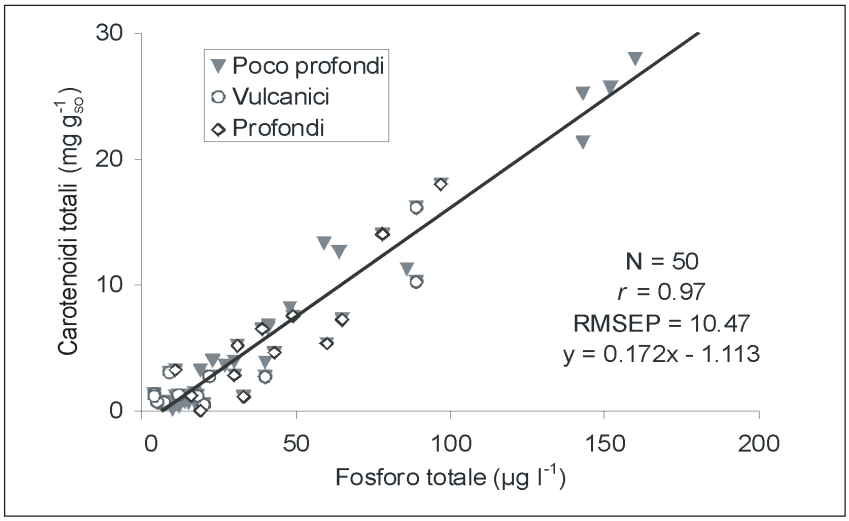

Fig. 3. Correlazione tra i carotenoidi totali nei sedimenti superficiali di un certo numero di laghi italiani distinti in poco profondi, profondi e di origine vulcanica e la concentrazione di fosforo totale nell'acqua alla circolazione. L'equazione viene utilizzata per calcolare la concentrazione di fosforo nei periodi pre-industriale a partire dal dato di carotenoidi analizzati in una sezione profonda della carota di sedimento (Guilizzoni *et al.*, 2008, submitted).

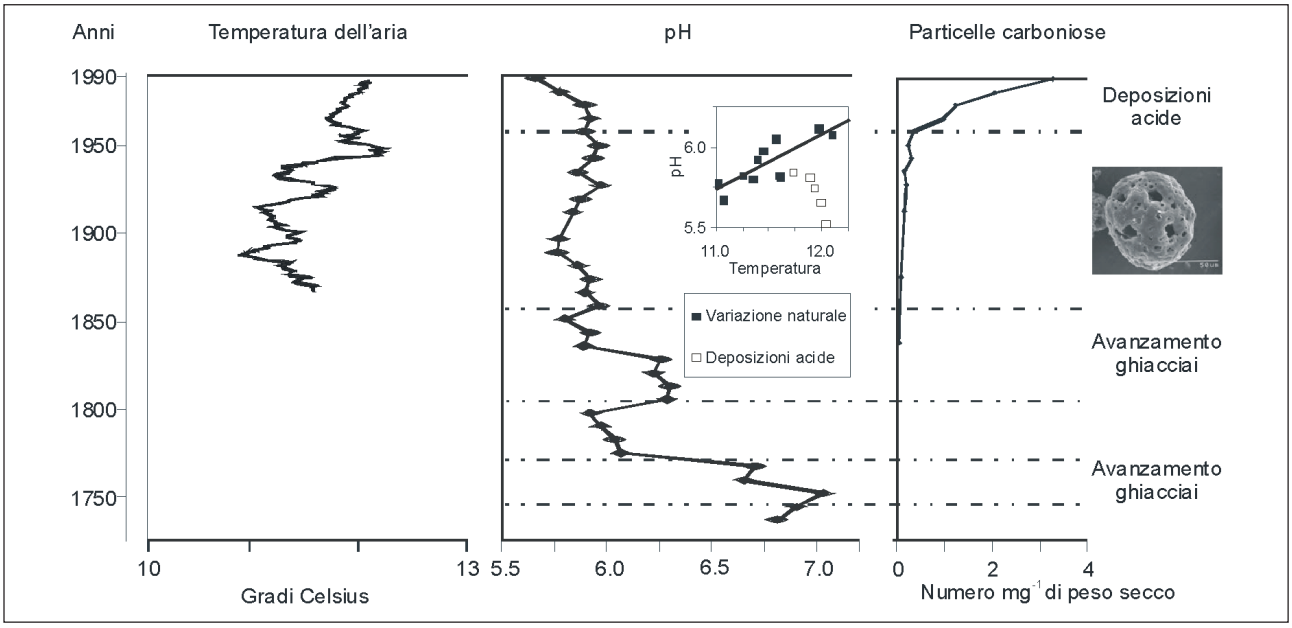

Fig. 4. Ricostruzione del pH di un lago alpino a partire dall'analisi di resti fossili di diatomee. Indicata è anche la distribuzione nella carota di sedimento di particelle di carbonio di origine industriale dalla quale si evince come il pH abbia raggiunto valori decisamente acidi dagli anni '50 in poi in coincidenza con il "boom" economico del Nord Italia del decennio successivo. È evidente la correlazione tra pH e temperatura dell'aria misurata a Lugano per i periodi antichi quando l'influenza dell'uomo sull'ambiente era molto minore di oggi e il disaccoppiamento della relazione nei tempi recenti a causa dell'inquinamento atmosferico (Marchetto *et al.*, 1993).

no confermato senza ombra di dubbio questo tipo di impatto antropico su questi ecosistemi (Fig. 4). Nel corso di questa ricerca, tuttavia, si è anche scoperta l'esistenza di una relazione tra acidità delle acque e condizioni climatiche, in particolare la temperatura.

La ricostruzione dei valori passati del pH di un lago si basa sulla tecnica, abbastanza affidabile, della ricostruzione dell'abbondanza relativa di specie di diatomee a diversa tolleranza nei confronti del pH. All'interno di questo gruppo di alghe unicellulari, che lasciano resti ben riconoscibili nel sedimento, vi sono infatti specie che colonizzano gli ambienti più acidi, specie di ambienti neutri e di quelli via via più alcalini a diversa tolleranza nei confronti del pH. Dalla presenza e dalla proporzione delle diverse specie di diatomee nei diversi strati di una carota di sedimento, è quindi possibile ricostruire quantitativamente con buona affidabilità il pH lacustre nel passato. A questa consolidata tecnica si è aggiunta quella che utilizza i pigmenti vegetali ed il loro grado di conservazione nei sedimenti (Guilizzoni *et al.*, 1992).

Nella maggior parte dei laghi, il pH delle acque è regolato dalla presenza di bicarbonati, derivanti dal dilavamento delle rocce che compongono il bacino imbrifero. Tuttavia, un numero limitato di laghi, per lo più alpini e artici, ha bacini imbriferi di piccole dimensioni e costituiti interamente da rocce poco solubili di natura silicica, come gneiss e graniti. In questi ambienti il pH è regolato principalmente (1) dalla solubilità delle rocce silicee, che aumenta con la temperatura, e (2) dai processi di riduzione che possono, a causa della mancanza di ossigeno durante il periodo di copertura da ghiacci, determinare un aumento di pH.

Per buona parte degli ultimi due secoli il pH dei laghi alpini suscettibili di acidificazione ha avuto oscillazioni comprese entro 5,8 e 6,1 unità; valori più bassi sono stati riscontrati solo nei campioni più superficiali delle carote, mentre acque con pH elevati caratterizzano alcuni periodi antichi. La coincidenza temporale con l'aumento delle particelle carboniose dimostra che, come notato per numerosi altri laghi delle Alpi, il recente abbassamento del pH è dovuto alla deposizione di inquinanti di origine atmosferica. Per contro, per via della loro localizzazione remota, le oscillazioni di pH evidenziate in periodi pre-industriali devono essere ascritte a cause naturali. Si è notato infatti che le zone della carota a pH relativamente elevato coincidono con i periodi di avanzamento dei ghiacciai. Durante tali periodi i laghi rimanevano probabilmente coperti da ghiaccio per buona parte dell'anno, e questo determinava il perdurare di condizioni di anossia, che davano luogo alla formazione di composti ridotti, con il conseguente consumo di acidità e l'aumento del pH delle acque. Per gli ultimi 130 anni circa, invece, le variazioni di pH sono significativamente correlate ($r=0,77$; $P<0,001$) con la temperatura media dell'aria (Psenner e Schmidt, 1992).

In conclusione, gli studi sui laghi remoti d'alta quota, così come molti altri effettuati nell'ultimo decennio indicano chiaramente come questi piccoli ambienti siano idonei, non solamente per lo studio del trasporto a lunga distanza di inquinanti, ma anche per la valutazione delle variazioni climatiche. La citata relazione tra pH e temperatura può essere in ultima analisi utilizzata per inferire le variazioni climatiche naturali in aree remote utilizzando le tecniche di ricostruzione del pH sopra descritte (Guilizzoni *et al.*, 1996; Guilizzoni *et al.*, 2006a).

Strettamente legati alle problematiche dei progetti sui laghi alpini sono gli studi in corso su altre aree remote, siti ideali per gli scopi sopra delineati. In questo contesto si collocano il Progetto Strategico Ev-K2-CNR in Nepal (Himalaya; Lami e Giussani, 1998) ed il Progetto POLARNET in Artico (Svalbard; Guilizzoni *et al.*, 2006b), entrambi del CNR. Dalle analisi chimiche e biologiche di strati sedimentari deposti negli ultimi 2500 anni circa in piccoli laghi di queste regioni si è ricostruito l'impatto delle modificazioni climatiche sull'ecosistema. Il confronto tra i risultati degli studi su questi laghi con quelli ottenuti da studi su ambienti alle nostre latitudini, ove la pressione esercitata dalle attività umane è molto elevata, consente di approfondire le conoscenze sulle relazioni che intercorrono tra fattori naturali e fattori antropici nel determinare l'evoluzione degli ecosistemi lacustri.

Dal 1996 il gruppo di paleolimnologia di Pallanza è parte attiva in uno studio multidisciplinare sui sedimenti del Lago Maggiore che ha come scopo quello di ricostruire l'inizio, la portata e gli effetti dell'inquinamento da DDT e, nel contempo, di analizzare l'evoluzione chimica e biologica di questo importante ecosistema (Guilizzoni e Calderoni, 2007). Il Lago Maggiore è uno dei laghi più studiati al mondo, poiché sono disponibili su di esso informazioni limnologiche di dettaglio fin dagli ultimi 40-50 anni. Questo studio consentirà di compiere interessanti analisi di tipo comparativo tra i risultati paleolimnologici e quelli limnologici. A tal fine è nata, all'interno dell'IGBP-PAGES (*International Geosphere Biosphere Programme – Past Global change*), una iniziativa internazio-

nale denominata LIMPACS (*Human Impact on Lake Ecosystems*), cui ha fatto seguito un nuovo Progetto Europeo denominato EUROLIMPACS (*Evaluating the Impacts of global change on European Freshwater Ecosystems*), con lo scopo di promuovere studi volti a verificare e calibrare i dati paleolimnologici con quelli derivanti dagli studi a lungo termine, misurati in tempo reale, allo scopo di ottenere ricostruzioni ambientali sempre più precise e vicine alla realtà.

Il dato paleolimnologico infatti necessita sempre di essere calibrato e verificato e a questo proposito sono sempre più numerosi gli studi di raffronto delle serie storiche di dati meteorologici con i risultati delle ricostruzioni a partire dai dati sui sedimenti. Le serie storiche vengono inoltre studiate e verificate in quanto risultano molto utili anche ai fini della messa a punto di modelli previsionali. A sua volta, il dato paleolimnologico/paleoclimatico diventa indispensabile quando il dato strumentale o quello ricavato da prove documentarie sia mancante poiché esso va a compensare la mancanza di informazioni pregresse. Risulta quindi evidente come le due discipline, quella che si occupa dello studio di sedimenti lacustri deposti in periodi di tempo più o meno lontani, e quella, sviluppatasi ormai da diversi anni, che si occupa della trasposizione quantitativa di informazioni derivanti da documenti storici in dati meteorologici, siano per molti aspetti complementari e vicarianti.

Sempre in ambito meteo-climatico, dalla fine del 2006 è in corso una ricerca che mira a ricostruire le vicende alluvionali del Lago Maggiore attraverso un'indagine di tipo sedimentologico su un certo numero di carote di sedimento (Kämpf e Brauer, 2008, in preparazione). Nelle carote rappresentate nelle figure 5 e 6, ad esempio, sono visibili alcuni strati sedimentari, costituiti prevalentemente da sabbie e altro materiale detritico, che sono relazionabili ad eventi di piena del lago. Una volta datati tali strati, di spessore variabile da zona a zona, sarà possibile ricostruire con grande dettaglio la storia delle principali alluvioni dell'area del Lago Maggiore.

L'attività di ricerca sui sedimenti lacustri è ora anche indirizzata allo studio dell'evoluzione della biodiversità in relazione a differenti tipi di alterazioni ambientali, naturali e conseguenti all'impatto antropico (Ricerche su: Evoluzione della biodiversità e valutazione della banca degli stadi duraturi di organismi acquatici di laghi remoti-RSTL 552 finanziata dal CNR; e su: Evoluzione della biodiversità di ambienti acquatici di zone temperate, tropicali e subtropicali-cooperazione bilaterale CNR e CNPq, Brasile; Manca, 2008).

Secondo quanto previsto dal *Millennium Ecosystem Assessment*, 2005, "tra tutti gli ecosistemi, quelli d'acqua dolce avranno la più elevata percentuale di specie danneggiate dal rischio di estinzione in conseguenza del cambiamento climatico". Tale previsione è basata sul fatto che alla variabilità spazio-temporale naturale, elevata ma prevedibile, che è caratteristica degli ambienti acquatici, si va sovrapponendo, per effetto delle modificazioni climatiche dovute all'impatto dell'uomo sull'ambiente, una variabilità non prevedibile, che è causa d'instabilità.

Fra le strategie di adattamento degli organismi planctonici a condizioni variabili dell'ambiente acquatico vi è quella di produrre stadi di dormienza che consentono

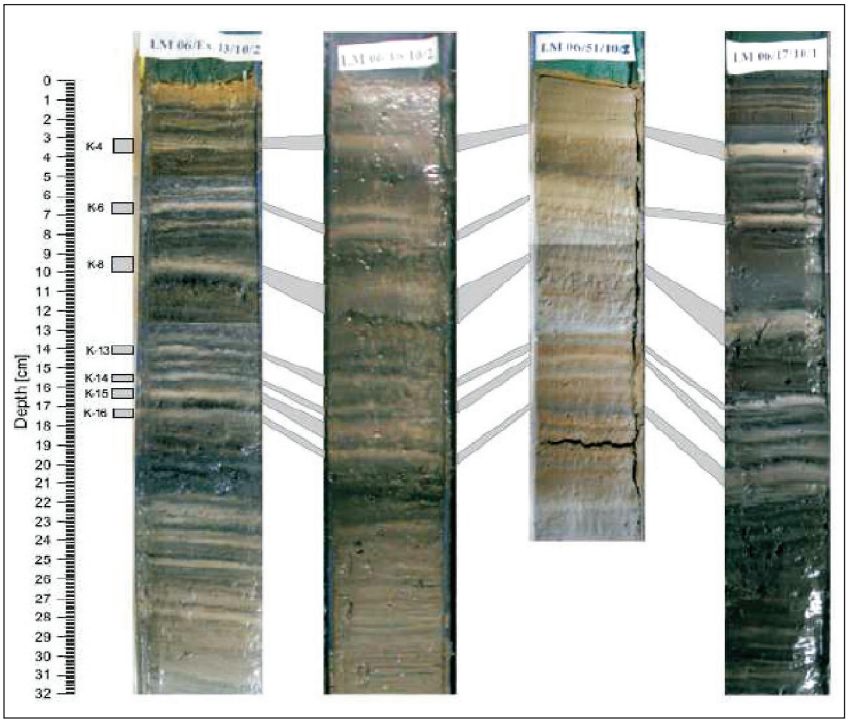

Fig. 5. Quattro carote di sedimento del bacino di Pallanza del Lago Maggiore. Sono visibili alcuni dei principali eventi alluvionali degli ultimi 30 anni (v. Fig. 6; Kämpf e Brauer, 2008, in preparazione).

di superare condizioni sfavorevoli allo sviluppo attivo degli organismi e alla crescita delle loro popolazioni (Brendonck e De Meester, 2003). In alcuni zooplanctonti, quali ad esempio *Daphnia* (Crustacea, Cladocera), gli stadi di resistenza sono uova inglobate in una porzione modificata del carapace, rivestita da membrane e da un rivestimento chitinoso rinforzato, denominata efippio. L'efippio viene rilasciato dalla femmina che lo produce con la muta e può, alla pari di un seme, essere trasportato da vettori biotici ed abiotici.

Gli efippi preservati nel sedimento possono costituire una riserva biotica dalla quale la popolazione può attingere per il reclutamento della popolazione nella colonna d'acqua. De Stasio (1989) ha proposto il termine "banca delle uova" per designare la riserva di uova in dormienza persistente per un tempo superiore a un anno nel sedimento. La stima del potenziale costituito dalla banca delle uova permette di meglio comprendere le variazioni stagionali delle popolazioni, la struttura delle comunità e l'evoluzione della biodiversità.

L'esistenza della banca delle uova comporta la necessità di considerare, accanto alla biodiversità attuale del plancton, misurata nella colonna d'acqua in un dato tempo e luogo, una biodiversità potenziale, costituta dalla riserva biotica delle specie. La stima del grado di vulnerabilità di un dato ambiente alle modificazioni nella biodiversità, sia in senso positivo (affermazione di specie invasive), che in senso negativo (perdita di specie autoctone) non può prescindere dalla valutazione della consistenza di tale riserva. Tale valutazione comporta la necessità di verificare, oltre all'effettiva produzione di stadi duraturi, espressione di strategie vitali delle diverse specie, anche la loro consistenza nello spazio e nel tempo, e la loro capacità di schiusa.

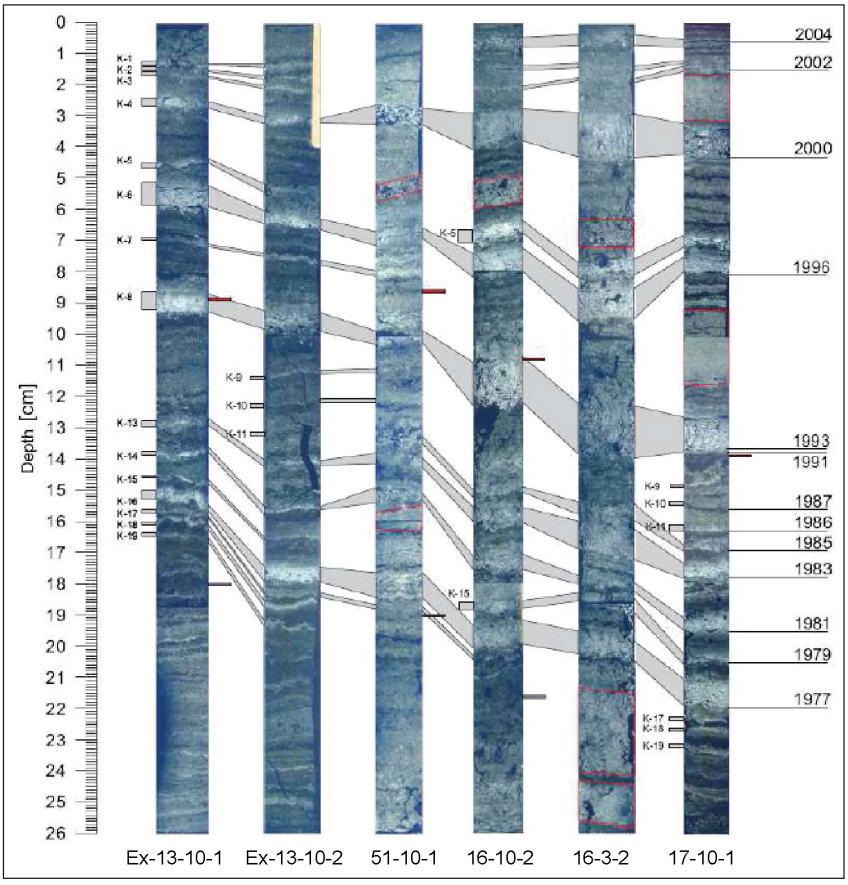

Fig. 6. Carote di sedimento del Bacino di Pallanza del Lago Maggiore correlate tra loro mediante i diversi strati detritici (indicati con K) a loro volta relazionati agli eventi di piena del lago (Kämpf e Brauer, 2008, in preparazione). I rettangoli sulle carote indicano eventi locali.

CONCLUSIONI

Quanto sopra brevemente descritto, alla pari di molti altri studi effettuati nell'ultimo decennio, dimostra come i sedimenti lacustri costituiscano un archivio naturale tra i più preziosi, che consente di tracciare la storia paleoclimatica, paleoambientale e geomorfologica di regioni geografiche di grande interesse con un dettaglio temporale paragonabile solamente a quello ottenibile da analisi su carote di ghiaccio. Alcune aree geografiche sono infatti reputate di particolare interesse, in quanto zone di confluenza di regimi climatici differenti; tale è ad esempio l'area Mediterranea, sottoposta all'influenza della circolazione continentale Nord Atlantica da una parte, e di quella Nord Africana, subtropicale dall'altra. Sul Mediterraneo, e relativamente all'arco temporale dell'Olocene recente, lo sforzo di ricerca è concentrato sulla separazione tra effetto naturale (climatico) ed effetto antropogenico. A questo riguardo molto deve essere ancora fatto.

Le ricerche paleolimnologiche avranno in futuro tra gli obbiettivi principali, quello dello studio delle modalità di adattamento degli ecosistemi lacustri alle accelerate va-

riazioni climatiche. Comprendere il passato e la variabilità climatica naturale potrà aiutarci a capire come si evolverà l'ambiente nell'immediato futuro, quando esso sarà ancor più fortemente condizionato dalla presenza dell'uomo. Le informazioni raccolte saranno inoltre utilizzate direttamente dai modellisti che si occupano di formulare previsioni sul clima del futuro, e ciò al fine di calibrare con maggior precisione i modelli attuali, confrontando quindi le ricostruzioni paleoclimatiche con i risultati prodotti dai modelli per i tempi passati.

Particolarmente attento a questo riguardo è il gruppo IGBP-PAGES che attribuisce, tra l'altro, una grande importanza alle implicazioni socio-economiche degli scenari climatici ottenuti a partire da diversi modelli previsionali. A questo proposito l'IGBP-PAGES ha prodotto una lista di interventi prioritari da realizzarsi al fine di ottimizzare i risultati ottenuti dai diversi gruppi di ricercatori impegnati in programmi in campo paleo-ambientale. Tra questi, l'iniziativa denominata PHAROS (*Past Human-Climate-Ecosystem Interactions*) ha lo scopo di esaminare come il clima, gli ecosistemi naturali e l'attività dell'uomo hanno interagito nel tempo sia a livello regionale che globale e, soprattutto, come le informazioni che si ottengono a tale riguardo possono essere utilizzate per i futuri scenari legati ai cambiamenti globali (Dearing e Battarbee, 2007).

Particolarmente importanti per la comprensione di come i sistemi naturali possano rispondere ai prevedibili cambiamenti futuri sono gli studi sulle relazioni tra gli organismi ed il loro ambiente fisico durante l'intero periodo glaciale e nell'interglaciale (l'ultimo, denominato Eemiano, di circa 120.000 anni fa, esplorato dai sedimenti del Lago di Monticchio, e l'attuale, Olocene, ultimi 11.000 anni). Le ricerche sulla variabilità paleoclimatica rappresentano pertanto un pre-requisito essenziale per la comprensione dell'evoluzione futura del sistema climatico del nostro pianeta e delle potenziali conseguenze dei futuri cambiamenti globali. In recenti congressi internazionali si è molto discusso della necessità di colmare le lacune sulle complesse interazioni del sistema Terra, proprio attraverso una maggiore integrazione tra le numerose informazioni di alto livello qualitativo ottenute dagli studi di paleoecologia e gli studi di dinamica energetica di atmosfera e oceani.

BIBLIOGRAFIA

Brendonck e De Meester, 2003. Egg banks in freshwater zooplankton: evolutionary and ecological archives in the sediment. *Hydrobiologia*, **491**: 65-84.

Chondrogianni C., Arztegui D., Rolph T., Juggins S., Shemesh A., Rietti-Shati M., Niessen F., Guilizzoni P., Lami A., McKenzie J.A., Oldfield F., 2004. Millennial-to interannual climate variability in the Mediterranean during the Last Glacial Maximum. *Quaternary International*, **122**: 31-41.

Dearing J., Battarbee R., 2007. Past Human-Climate-Ecosystem Interactions (PHAROS). *PAGES news*, **15**: 8-10.

De Stasio 1989. The seed bank of a freshwater crustacean: copepodology for the plant ecologist. *Ecology*, **70**: 1377-1389.

Guilizzoni P., Oldfield F. (Eds), 1996. Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments (PALICLAS). *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, **55**: 357 pp.

Guilizzoni P., Calderoni A., 2007. *Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto finale 2001-2007*. Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 108 pp.

Guilizzoni P., Bonomi G., Galanti G., Ruggiu D., 1982. Basic trophic status and recent development of some italian lakes as revealed by plant pigments and other chemical components in sediments cores. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, **40**: 79-98.

Guilizzoni P., Bonomi G., Galanti G., Ruggiu D., 1983. Relationship between sedimentary pigments and primary production evidence from core analyses of twelve Italian lakes. *Hydrobiologia*, **103**: 103-106.

Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., 1992. Plant pigment ratios from lake sediments as indicators of recent acidification in alpine lakes. *Limnol Oceanogr.*, **37**: 1565-1569.

Guilizzoni P., Marchetto A., Lami A., Cameron N.G., Appleby P.G., Rose N.L., Schnell Ø.A., Belis C.A., Guzzi L., 1996. The environmental history of a mountain lake (Lago Paione Superiore, Central Alps, Italy) for the last c. 100 years: a multidisciplinary, palaeolimnological study. *J. Paleolimnol.*, **15**: 245-264.

Guilizzoni P., Marchetto A., Lami A., Oldfield F., Manca M., Belis C.A., Nocentini A.M., Comoli P., Jones V.J., Juggins C., Chondrogianni S., Ariztegui D., Lowe J.J., Ryves D.B., Devoy E., Battarbee R.W., Rolph T.C., Massaferro J., 2000. Evidence for short-lived oscillations in the biological records from the sediments of Lago Albano (central Italy) spanning the period ca. 28 to 17 kyr BP. *J. Paleolimnol.*, **23**: 117-127.

Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Jones V., Manca M., Bettinetti R., 2002. Palaeoproductivity and en-

vironmental changes during the Holocene in central Italy as recorded in two crater lakes (Albano and Nemi). *Quaternary International*, **88**: 57-68.

Guilizzoni P., Lami A., Manca M., Musazzi S., Marchetto A., 2006a. Palaeoenvironmental changes inferred from biological remains in short Lake sediment cores from the Central Alps and Dolomites. *Hydrobiologia*, **562**: 167-191.

Guilizzoni P. Marchetto A., Lami A., Musazzi S., Vigliotti L., Brauer A., Langone L., Manca M., Lucchini F., Calanchi N., Dinelli E., Mordenti A., 2006b. Record of environmental and climatic changes during the late Holocene from Svalbard: palaeolimnology of Kongressvatnet. *J. Paleolimn.*, **36**: 325-351.

Lami A., Giussani G. (Eds), 1998. Limnology of high altitude lakes in the Mt. Everest Region (Nepal). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **57**: 235 pp.

Lami A., Marchetto A., Lo Bianco R., Appleby P.G., Guilizzoni P., 2000a. The last ca. 2000 years palaeolimnology of Lake Candia (N. Italy): inorganic geochemistry, fossil pigments and temperature time-series analyses. *J. Limnol.*, **59**: 31-46.

Lami A., Cameron N., Korhola A. (Eds), 2000b. Paleolimnology and ecosystem dynamics at remote European alpine lakes. (MOuntain LAkes Research programme, MOLAR). *J. Limnol.*, **59** suppl.: 119 pp.

Manca M., 2008. *Biodiversità e riserva biotica locale delle comunità planctoniche.* Atti dell'Accademia dei Lincei, Roma: 28 Marzo 2008: in stampa.

Marchetto, A., Guilizzoni P., Lami A. Giorgis A.. 1993. Diatom based pH reconstruction in an alpine lake: the importance of temperature changes. In. Giussani, G. & C. Callieri (eds), *Strategies for lake ecosystems beyond 2000*. Proceedings of the 5th International Conference on the Conservation and Management of Lakes, 17-21 May, 1993, Stresa, Italy. Edizioni Istituto Italiano di Idrobiologia, Verbania Pallanza: 423-426.

Marchetto A., Lami A., Guilizzoni P., 1997. Relazione tra acidificazione e variazioni di temperatura: evidenze emerse dall'analisi diatomologica del sedimento di un lago alpino. *S.It.E. Atti*, **18**: 417-420.

Psenner R., Schmidt R., 1992. Climate-driven pH control of remote mountain lakes and effects on acid deposition. *Nature*, **356**: 781-783.