

Molto più di semplici specchi d'acqua

I laghi e la memoria ambientale sepolta nei loro sedimenti

MARIA LETIZIA FILIPPI

Museo Tridentino di Scienze Naturali

Come far parlare i laghi...

Al di sotto della superficie di un lago c'è tutto un mondo nascosto fatto di micro e macrorganismi viventi nell'acqua, di particelle minerali ed organiche in sospensione che, prima o poi, si depositano sul fondo del lago (i primi dopo la morte) andando a formare il sedimento.

Queste "particelle" si distribuiscono nella zona litoranea o in quelle profonde, dove c'è la luce (zona fotica) o dove non c'è (zona afotica) a seconda delle loro "preferenze" e delle condizioni fisico-chimiche della colonna d'acqua. Questo mondo sommerso è intimamente legato con quello esterno.

Nelle nostre regioni a clima temperato, i laghi risentono infatti fortemente delle variazioni stagionali. Con la primavera e l'estate la temperatura dell'acqua aumenta, così come la quantità di luce che il lago riceve.

Il lago si "stratifica": la parte più superficiale (detta "epilimnio") è più calda e luminosa, mentre la parte più profonda ("ipolimnio") rimane fredda e buia.

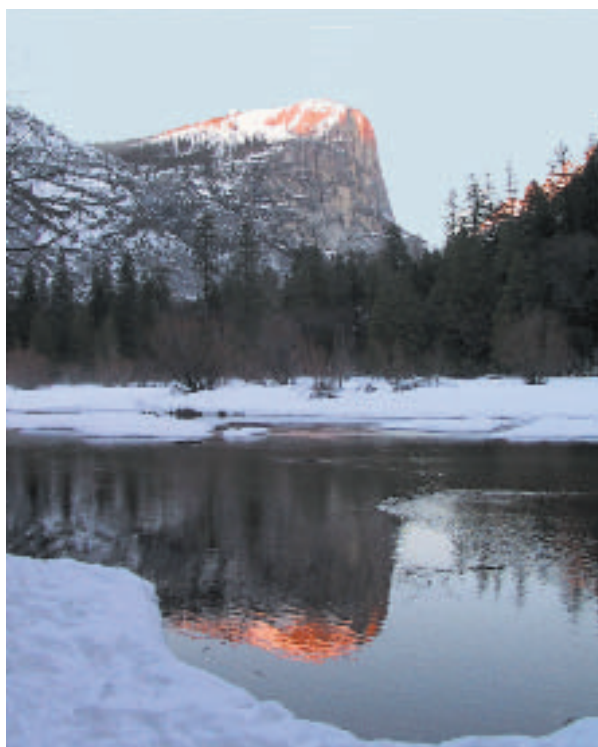


Fig. 1 - Il Mirror Lake, nome quanto mai appropriato per questo specchio d'acqua nello Yosemite National Park (foto di P. King, tratta dal sito: www.pkingDesign.com).

In questo periodo in cui si instaurano condizioni favorevoli, le alghe e i microrganismi "fioriscono", come i fiori nei campi, diventando pane per i predatori, e facendo così ripartire la catena alimentare dopo la stasi invernale. Cambiano le stagioni, arrivano le piogge autunnali, che portano nel lago attraverso gli immissari e il ruscellamento diffuso acqua e detriti (foglie, rametti, polveri e terre).

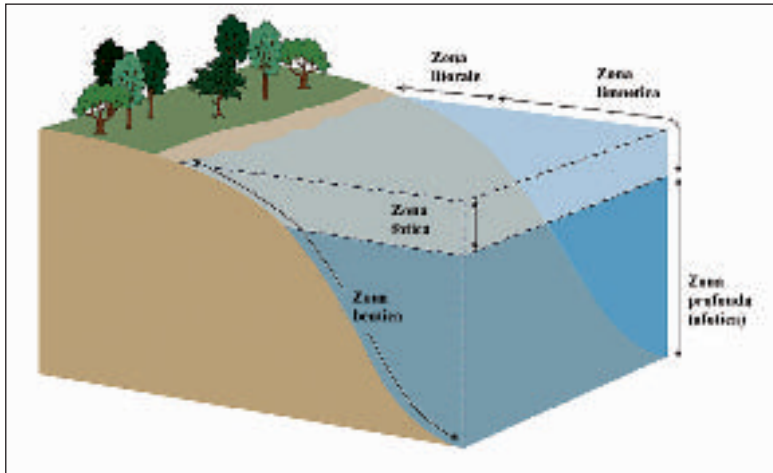


Fig. 2 - Zonazione nei laghi.

La zona fotica è un'area dove c'è luce sufficiente per il processo di fotosintesi. All'interno della zona fotica, la parte che si trova vicino alla riva viene chiamata zona litorale, mentre quella più distante zona limnetica (o pelagica). L'area in cui penetra pochissima luce e in cui gli organismi primari sono eterotrofi è chiamata zona afotica (o profonda).

La zona bentica corrisponde al fondo del lago (disegno: M. Young, Baylor College of Medicine, Center for Educational Outreach, 2004, modificato).

Piano piano queste “nuvole torbide” decantano, il materiale in sospensione si deposita sul fondo, e l'acqua torna limpida e trasparente. La superficie del lago si raffredda e l'acqua – diventata più densa – tende a scendere verso il basso, provocando un ricircolo completo (overturn) all'interno del lago.

Arriva l'inverno con i suoi rigori, e un sottile strato di ghiaccio inizia a formarsi sulla superficie dei nostri laghi alpini, per poi ispessirsi con l'irrigidirsi delle temperature.

Il modo sommerso si ritrova al freddo e senza luce: alcuni organismi soccombono, altri entrano in stato “letargico”.

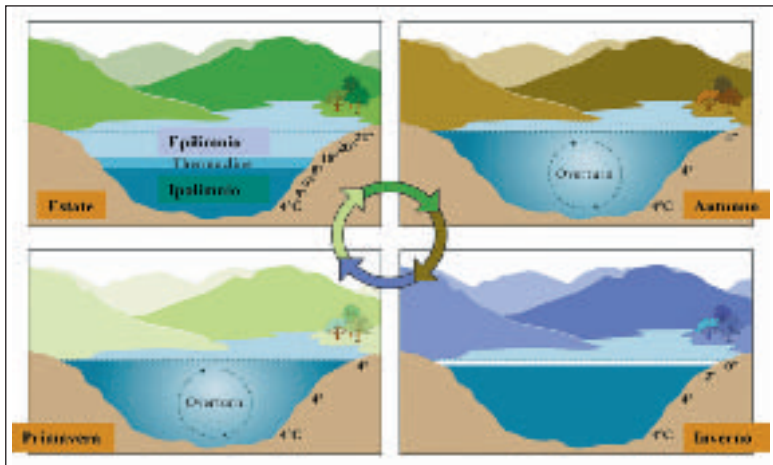
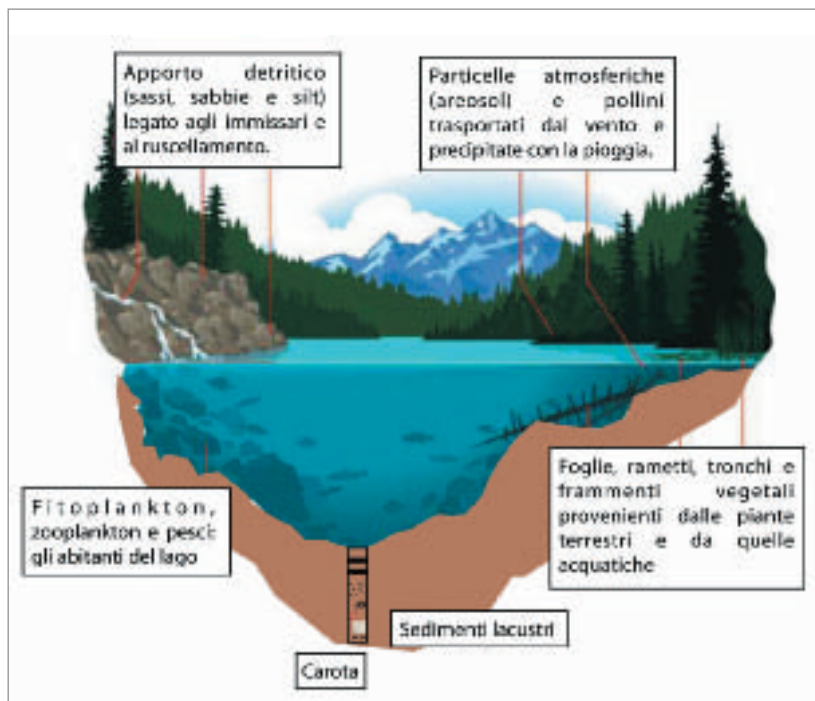


Fig. 3 - Stratificazione termica dei laghi.

In estate la parte superficiale di un lago (epilimnio) è più calda della parte più profonda (ipolimnio), il lago è stratificato. Il limite tra i due livelli viene chiamato termocline. Con l'avvicinarsi dell'inverno la superficie del lago si raffredda e il termocline scompare. Il cambio di densità dell'acqua e i venti provocano un ricircolo totale dalla

superficie al fondo delle acque del lago (chiamato overturn). D'inverno, se il lago ghiaccia, si ha un fenomeno di inversione termica, con la temperatura di superficie più fredda di quella del fondo del lago. Con la primavera la superficie si riscalda e può avvenire un secondo fenomeno di ricircolo. Il mescolamento di ossigeno e altri nutrienti tra la zona superficiale e quella profonda durante i ricircoli stagionali fornisce ingredienti essenziali per gli organismi dell'ecosistema lacustre (disegno: M. Young, Baylor College of Medicine, Center For Educational Outreach, 2004, modificato).

Fig. 4 - I laghi come archivio paleoclimatico e paleoambientale. Come spiegato nel testo, il lago è una specie di trappola che ingloba nei suoi sedimenti i resti degli organismi che vi vivono e vi muoiono, le particelle inorganiche che vi si formano, e quanto vi viene trasportato dagli immissari, dal ruscellamento diffuso, dalla pioggia e dal vento (polveri, pollini, foglie, sedimenti in sospensione...) (disegno: D. Thompson, modificato).



Ecco allora che il lago si trova non solo a riflettere nelle sue acque l'immagine del paesaggio circostante come uno specchio, ma anche a registrare con pazienza e precisione tutto quello che accade intorno e dentro di lui, una stagione dopo l'altra. Ogni evento rimane in qualche modo "intrappolato" e archiviato nel sedimento, che si trasforma in un preziosissimo documento sulla storia del lago, del suo ambiente e del clima della zona, a partire dalla nascita del lago stesso. Per questo motivo i ricercatori sono molto interessati ai sedimenti lacustri, tanto che negli anni '60 è nata una disciplina specifica chiamata "paleolimnologia", che significa lo studio dei laghi (dal greco *limnos*) nel passato (dal greco *paleo*).

Da noi, al Museo Tridentino di Scienze Naturali (MTSN), c'è una lunga tradizione di interesse per i laghi. Per tutto il secolo scorso tale categoria di ambienti ha attratto l'interesse di illustri ricercatori del Museo (Vittorio Largaiolli, Giovanni Battista Trener, Vittorio Marchesoni, Gino Tomasi) o che con esso hanno avuto stretti rapporti di collaborazione (p.e. Edgardo Baldi), i quali si concentravano su problematiche di limnologia, ma non

trascuravano di andare indietro nel passato, cercando di capire la storia e le origini dei laghi studiati. Nel 2000 è stata formalmente istituita una sezione di Limnologia e Algologia, che conferma e struttura l'interesse del Museo per questo settore. Nel 2003, grazie al finanziamento del Fondo Unico per la Ricerca della PAT, è iniziato "OLOAMBIENT", un progetto triennale coordinato dal Museo che si propone di ottenere informazioni di carattere climatico e ambientale in Trentino a partire da più di 10000 anni fa, basandosi proprio sugli archivi dei sedimenti lacustri, così numerosi nella nostra provincia. In particolare, il progetto studia i laghi di Lavarone (altopiano dei Sette Comuni), Nero di Cornisello (Val Nambro-ne, zona Pinzolo), e Caldonazzo (Valsugana).

Ma come si fa a "far parlare" un lago? Come estrarre le informazioni che così accuratamente e gelosamente conserva? Per prima cosa si "scheda" il lago, cercando di raccogliere tutti i dati disponibili su di esso (nome, coordinate geografiche, origine, dati morfometrici come forma, profondità media e massima, area, volume) e sul bacino di riferimento.

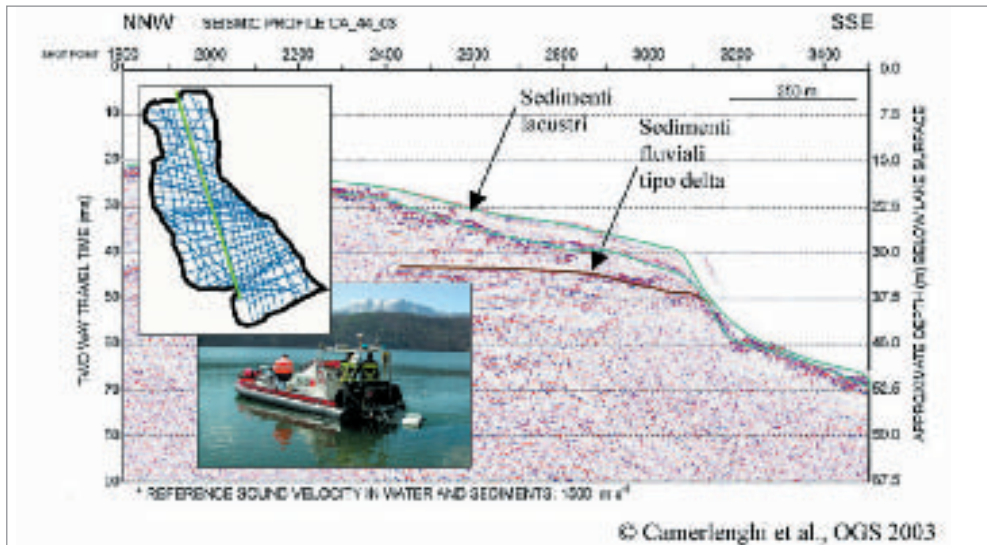


Fig. 5 - Esempio di acquisizione dati tramite sismica a riflessione a Caldonazzo: con l'aiuto del Corpo Permanente Vigili del Fuoco di Trento, che hanno gentilmente messo a disposizione un'imbarcazione (nel riquadro in basso a sinistra), i nostri colleghi dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - Trieste (OGS) hanno ricoperto il Lago di Caldonazzo con una fitta rete di profili sismici (nel riquadro in alto a sinistra). L'interpretazione di questi profili ha permesso di stimare lo spessore dei sedimenti lacustri e individuare i migliori punti di campionamento.

Da noi questo lavoro è iniziato tempo fa con la minuziosa e preziosissima opera di Gino Tomasi (direttore emerito del MTSN), che ha creato il primo catasto dei laghi trentini, pubblicato per la prima volta nel 1963 e riedito in una aggiornata edizione del 2004 (*"I trecento Laghi del Trentino"*), corredata di splendide fotografie. Alle informazioni di carattere geografico si aggiungono quelle chimico-biologiche sullo stato attuale delle acque e della vita nel lago, spesso disponibili in trentino grazie al lavoro di monitoraggio dell'Istituto Agrario San Michele all'Adige e delle ricerche della sezione di Limnologia e Algologia del Museo.

Partendo dal quadro della situazione così delineato, con tecniche simili a quelle ecografiche (sismica a riflessione) si ottiene un'immagine del sedimento in profondità, fatta per conoscere le condizioni dell'archivio prima di aprirlo. Queste immagini, opportunamente trattate con appositi programmi informatici, ci permettono di individuare quali sono i punti del fondo lacustre in cui l'archivio-sedimento è meglio conservato. Tra questi vengono selezionati i siti da campionare, da cui si preleva, tramite tecniche di carotaggio, il sedimen-

to. Queste operazioni sono cruciali per la buona riuscita di una ricerca paleoambientale. Se il sito non venisse scelto accuratamente, o se durante il campionamento stesso si verificassero dei problemi, ci ritroveremmo poi ad avere tra le mani un archivio inintelligibile, come un libro con le pagine sciupate o strappate.

È altrettanto intuitivo che la "registrazione" del lago sarà tanto migliore quanto minori saranno stati gli interventi turbativi (impatto antropico, eventi di piena, frane sublacustri) che il sedimento ha subito.

Le tecniche di carotaggio cambiano in funzione del tipo di sedimento che si vuole prelevare, e delle condizioni ambientali (lago profondo o basso, facilmente raggiungibile o remoto, campionamento invernale da superficie ghiacciata o estivo...).

In generale, si usano delle piattaforme di dimensioni variabili da cui si calano dei carotieri, strumenti con una "testa" fissa cui si connettono dei tubi di metallo o di plastica. Il carotiere tocca il fondo del lago e penetra nel sedimento o per gravità o per spinta meccanica, riempiendosi, e viene poi recuperato sulla piattaforma.



Fig. 6 a, b, c, d - Esempi di diverse piattaforme e carote: a - piccola piattaforma completamente smontabile e trasportabile a spalle per campionare laghi di alta quota; b - piattaforma della ditta austriaca UWITEC usata per campionare i laghi di Lavarone e Caldonazzo; c, d - carotiere a gravità UWITEC per carote corte (foto: N. Angeli e P. Oss Emmer).

I tubi pieni di sedimento, detti “carote”, sono accuratamente tappati, etichettati e portati in speciali celle frigorifere per la conservazione.

Nel lago di Lavarone, a quota 1100m s.l.m., con 17m di profondità massima e raggiungibile in auto, ad esempio, siamo riusciti a prendere fino a 10m di sedimento con una piattaforma e un carotiere a martello battente di una ditta specializzata (UWITEC – Austria).

Al Lago Nero di Cornisello, invece, che si trova in alta Val Nambrone a 2300m s.l.m di

quota ed è raggiungibile solo a piedi, la collaborazione con il Gruppo Elicotteri della Provincia Autonoma di Trento ci ha permesso di superare le difficoltà logistiche legate alla localizzazione del sito. Il lago ha una forma a imbuto con un’area ridotta (0,03km²), e una profondità di 36m. Questa notevole profondità era problematica dal punto di vista del campionamento, poiché i sistemi di carotaggio di cui è dotato il Museo Tridentino di Scienze Naturali non possono superare la profondità di 15m.

Il gruppo Sommozzatori del Corpo Permanente dei Vigili del Fuoco (VVFF) di Trento ci è venuto in aiuto. Un'imbarcazione dei VVF unitamente al materiale per il campionamento e all'attrezzatura per le immersioni sono stati trasportati con elicottero fino al lago. Il gruppo sommozzatori ha effettuato il campionamento con un carotiere appositamente studiato e modificato in modo tale da poter essere utilizzato sott'acqua direttamente da subacquei. L'impegnativa immersione di alta quota e notevole profondità ha permesso il recupero di ben sei carote di circa 2m l'una.

Una volta recuperato più o meno avventurosamente il nostro archivio di sedimento, occorre iniziare a decifrarlo. Abbiamo detto che il sedimento intrappola un misto di minerali e micro-organismi e frammenti organici, che si depositano sul fondo una stagione dopo l'altra. Tre allora sono le dimensioni da esplorare per capire il contenuto dell'archivio:

il mondo inorganico;
il mondo biologico;
il tempo;



Figg. 7 a, b, c - Operazioni di campionamento al Lago Nero di Cornisello, quota 2233m s.l.m., estate 2004: a - ammaraggio di un'imbarcazione del Corpo Permanente Vigili del Fuoco di Trento (VVFF-Trento) sul lago da parte di un elicottero del Gruppo Elicotteri della Provincia Autonoma di Trento; b - sommozzatori dei VVFF-Trento pronti all'immersione per il campionamento; c - carote di sedimento sigillate e etichettate, pronte a essere trasportate a valle (foto: N. Angeli, M. Zandonati e P. Oss Emmer).



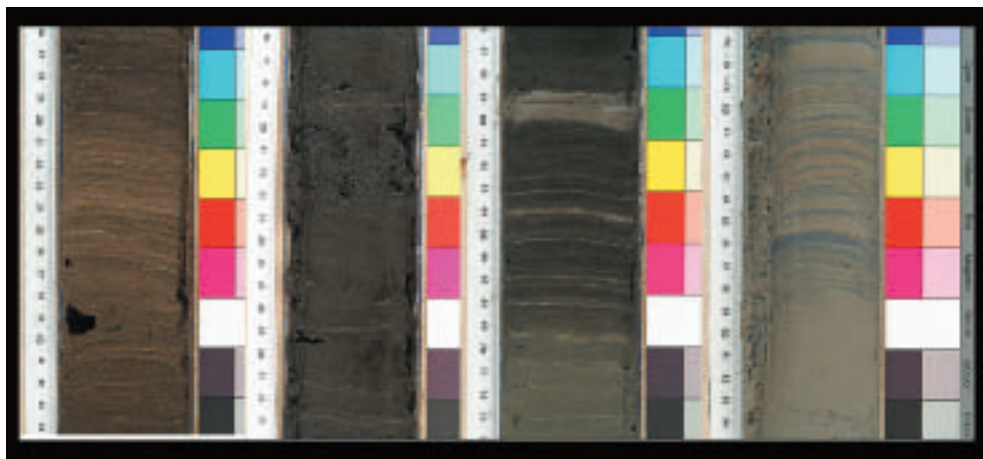


Fig. 8 - Sedimenti del Lago di Lavarone: da destra a sinistra, si passa da un fango grigio privo o quasi di materia organica, tipico di un ambiente da poco deglaciato, a un fango organico marrone scuro ricchissimo di frammenti vegetali, che indica un'alta produttività lacustre e la presenza di abbondante vegetazione nei dintorni del lago, per finire con un sedimento a bande sottili chiare e scure (lamine annuali) che sono il segnale dell'alternarsi delle stagioni (varve) (foto: N. Baldo, montaggio: M. L. Filippi).

Le carote, il nostro tesoro, devono essere investigate seguendo questi tre approcci per dischiuderne i segreti. Alcune informazioni si possono ottenere prima ancora di aprire la carota. Le carote chiuse vengono fatte passare dentro a degli strumenti che misurano le caratteristiche fisiche del sedimento, la sua densità e porosità, la sua capacità di magnetizzarsi (susceptibilità magnetica). Questi parametri sono legati al tipo di sedimento contenuto nella carota (granulometria, composizione) e al suo ambiente di sedimentazione. In seguito i tubi delle carote vengono tagliati lungo l'asse maggiore su due lati, e la carota viene aperta come fosse un libro. Una metà viene immediatamente fotografata e tenuta come archivio, mentre l'altra viene campionata. L'aspetto, il colore, l'eventuale presenza di strutture del sedimento, come bande o stratificazioni, o di elementi quali gusci di conchiglie o frammenti vegetali (foglie, rametti, semi, etc.) vengono annotati su apposite schede di "descrizione sedimentologica".

Ogni lago sarà caratterizzato da sedimenti diversi in funzione dello stesso ambiente lacustre, le cui condizioni possono variare nel tempo.

Per esempio a Lavarone, nei 10m di sedimento recuperati, si passa da un fango grigio privo o

quasi di materia organica, tipico di un ambiente da poco deglaciato, a un fango organico marrone scuro ricchissimo di frammenti vegetali, che indica un'alta produttività lacustre e la presenza di abbondante vegetazione nei dintorni del lago, per finire con un sedimento a bande sottili chiare e scure (lamine annuali) che sono il segnale dell'alternarsi delle stagioni e si conservano grazie al fatto che sul fondo manca ossigeno (anossia), per cui nessun animale può disturbare il sedimento. Queste coppie di lamine chiaro-scure vengono chiamate varve e sono molto utili perché, essendo un segnale stagionale, si possono contare come gli anelli degli alberi, ottenendo così l'età del sedimento. La descrizione sedimentologica, che necessita solamente di un occhio esperto, è la base delle successive fasi di sub-campionamento. Ci permette di capire a grandi linee la storia del lago, come se leggessimo il riassunto del libro che è il sedimento. Potrebbe anche succedere che la storia non ci piaccia... o magari che non racconti quanto ci aspettavamo! Nonostante tutta l'attenzione possibile nella scelta dei siti da studiare, non si può mai sapere davvero cosa ha da dire un lago finché non si accede al suo registro, prelevando delle carote.

Questo primo lavoro ci aiuta anche a capire se l'archivio è davvero intatto e adatto allo studio, e dunque se vale la pena approfondire la ricerca.

Se così è, a differenza delle favole, non possiamo iniziare la nostra storia con il classico "C'era una volta": dobbiamo riuscire a determinare quando è nato il lago, e quando sono avvenuti gli eventi registrati nei suoi sedimenti. Grazie agli sviluppi della scienza dopo la II Guerra Mondiale, abbiamo oggi a disposizione diversi sistemi di datazione. Nei sedimenti lacustri il metodo più applicato è quello del radiocarbonio (^{14}C), che sfrutta il principio del decadimento radioattivo. Al di là dei dettagli tecnici, è importante sapere che per utilizzare questo metodo in genere si parte da frammenti vegetali, come foglie rametti, semi – anche se in teoria è applicabile a tutto quanto incorpora del ^{14}C – e che la finestra di tempo databile va da 50 a 50000 anni fa, ma il metodo non è molto preciso per i depositi più recenti. Per gli ultimi 100-150 anni si utilizzano altri elementi legati a serie di decadimento radioattivo, quali il ^{210}Pb , o alcuni isotopi la cui presenza è legata agli esperimenti/incidenti nucleari (Cesio e Americio). Dove presenti, si possono anche contare le varve, ed ottenere così una cronologia molto precisa. Applicando questi metodi, siamo riusciti a scoprire che i laghi Nero di Cornisello e Lavarone si sono formati subito dopo il ritiro dei ghiacciai da quelle zone, mentre il lago di Caldonazzo si è formato successivamente.

Una volta delineato un quadro temporale suffi-

cientemente preciso per collocarvi gli eventi registrati dall'archivio lacustre, con vari sistemi si prendono parti del sedimento a intervalli più o meno regolari per effettuare analisi di dettaglio, da un lato per definire la componente inorganica (composizione mineralogica e chimica), dall'altro per individuare la componente biologica.

Come abbiamo detto, il mondo interno del lago è intimamente legato a quello esterno. La presenza/assenza e la distribuzione di determinate specie di micro-organismi nell'acqua – e quindi poi nel sedimento – dipende dalle condizioni fisico-chimiche dell'ambiente lacustre, e dalla competizione ecologica. All'interno del sedimento campionato si vanno dunque a cercare resti di alghe, come le diatomee, o di conchiglie come gli ostracodi, di micro-crostacei (Cladocera), o di insetti (Chironomidae) che ci possono dare informazioni sulla temperatura e le condizioni trofiche dell'acqua in cui sono vissuti. Recentemente alcuni paleolimnologi, effettuando uno studio statistico sui fattori dominanti (temperatura, pH, fosforo) che incidono sulla distribuzione di queste specie oggi nei laghi, hanno potuto definire delle funzioni matematiche dette "di trasferimento" (transfer function) che permettono di quantificare le variazioni di questi fattori nel tempo. Inserendo le distribuzioni trovate nel nostro sedimento in queste funzioni siamo in grado di ricostruire come è cambiata la temperatura media estiva da quando il sedimento, e la presenza dei microrganismi, ce lo permettono.

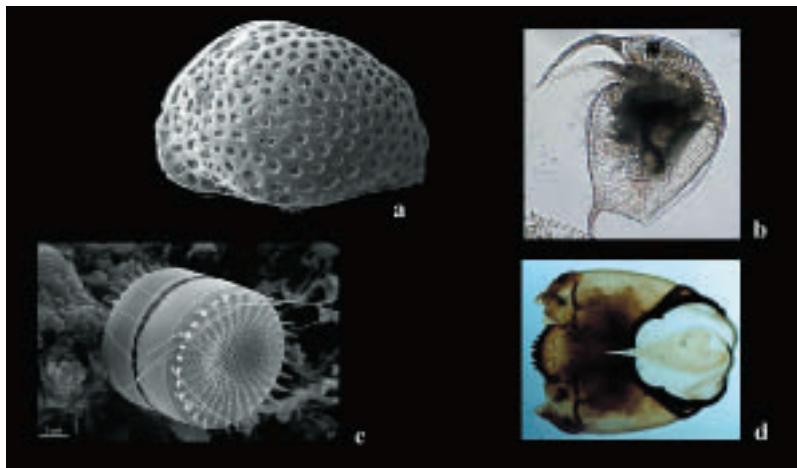


Fig. 9 - Organismi che popolano le acque lacustri: esempi di
a – ostracode;
b – cladocero;
c – diatomea;
d - chironomide;
questi piccoli organismi possono fornire indicazioni sulle condizioni di temperatura, pH e stato trofico in cui vivono (foto fornite da: A. Lotter).

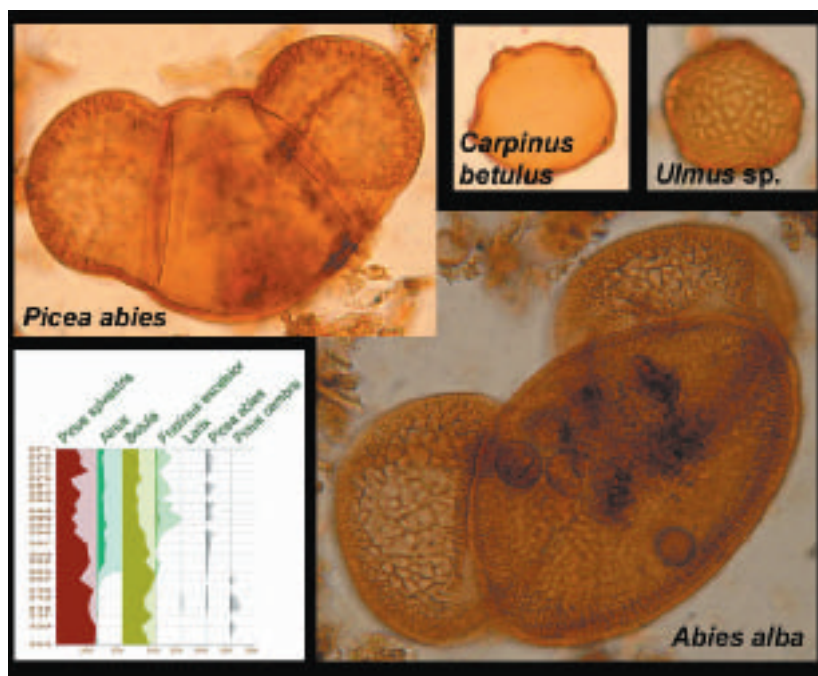
Ma non basta... Nei sedimenti lacustri rimangono anche intrappolati i pollini delle piante, che cadono nel lago dopo esser stati trasportati dal vento. Per la loro struttura resistente, essi sono in grado di conservarsi in modo perfetto, rimanendo riconoscibili per gli occhi esperti dei palinologi. Con speciali trattamenti i pollini vengono estratti dal sedimento e attentamente osservati al microscopio per riconoscere da quale pianta sono stati generati. Ogni pianta, infatti, produce polline con una forma e una struttura caratteristiche. In questo modo si ottiene un diagramma pollinico, che contiene per ogni campione analizzato l'elenco delle specie trovate e il numero dei grani di polline contati. Da qui si parte per ricostruire come è variata la vegetazione intorno al lago nel corso del tempo: è facile intuire che se troviamo solo pollini di piante erbacee possiamo immaginarci che l'ambiente circumlacuale fosse di tipo steppeico, mentre l'abbondanza di specie arboree ci indurrà a pensare a una zona boscata. A seconda poi degli alberi presenti riconosceremo un ambiente più umido o secco, con temperature rigide o miti.

Allo stesso tempo il mondo inorganico con le sue alternanze di livelli più grossolani (sabbie) e

più fini (argille) ci racconta di eventi di piena, o di variazione nel livello del lago; le analisi geochemiche riflettono le caratteristiche del territorio circostante, dell'uso del suolo, le condizioni di sedimentazione e gli eventuali fenomeni di inquinamento atmosferico (aerosol) o di percolamento. L'insieme di tutti questi dati ci aiuta a dipingere un quadro assai preciso della storia del lago e dell'ambiente circostante: l'archivio lacustre è così decifrato.

Abbiamo tra le mani un "filmato" unico che in alcuni casi può durare anche 15.000 anni, e che ci racconta di com'era il Trentino prima che la pressione antropica lo trasformasse, e di quali siano stati i cambiamenti climatico-ambientali che ha vissuto dopo l'ultima glaciazione, e come abbia reagito. Tutto questo è molto utile per capire meglio cosa accadrà ora che invece la presenza umana è massiccia e i cambiamenti climatico-ambientali repentini e marcati. Per aree come le nostre, dove le testimonianze preistoriche e archeologiche sono spesso situate in media-alta montagna, archivi come Lavarone e Nero di Cornisello diventano anche un riferimento per comprendere come (e se) i cambiamenti ambientali abbiano influito sulle scelte di vita dei primi abitanti del Trentino.

Fig. 10 - Esempi di granuli pollinici provenienti da diverse piante e di diagramma pollinico semplificato. Da una rapida lettura del diagramma sono evidenti i cambiamenti nella vegetazione: per es. *Alnus* inizia a esser presente solo a partire da una certa profondità (ca 310), in contemporanea ad un calo di *Betula* (foto: E. Arpentì).



Desidero ringraziare la Provincia Autonoma di Trento, che finanziando il progetto OLOAMBIENT ha reso possibile lo studio paleolimnologico di alcuni laghi del Trentino, e quindi anche la stesura di questo articolo. Ringrazio anche i colleghi delle sezioni di Geologia e di Limnologia e Algologia del Museo Tridentino Scienze Naturali coinvolti nella ricerca, la coordinatrice del progetto dott.ssa Silvia Frisia, ed i colleghi, in particolare quelli che hanno avuto la pazienza di rileggere questo testo. Vorrei infine sottolineare come la generosa disponibilità dei VVFF di Trento sia stata fondamentale per la realizzazione dei nostri campionamenti.

A chi fosse interessato ad approfondire l'argomento consiglio la lettura di "Paleolimnology:

The History and Evolution of Lake Systems" di A. S. Cohen, Oxford University Press (maggio 2003).

Anche l'articolo intitolato "Paleoecologia e paleoclimatologia per capire le variazioni climatiche", pubblicato su Ricerca&Futuro (n. 20, 2001) dai colleghi del CNR dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, accessibile via internet a questo indirizzo: <http://www.fi.cnr.it/r&f/n20/guilizzoni.htm>, è un utile complemento a quanto qui raccontato.

Da ultimo, ma non per questo meno importante, il libro "*I TRECENTO LAGHI DEL TRENINO*" di G. TOMASI (2004) è un'opera fondamentale per introdursi nell'affascinante mondo dei nostri specchi d'acqua.