

Lagheti d'alta quota

Quaderni habitat

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
Museo Friulano di Storia Naturale - Comune di Udine

coordinatori scientifici

Alessandro Minelli · Sandro Ruffo · Fabio Stoch

comitato di redazione

Aldo Cosentino · Alessandro La Posta · Carlo Morandini · Giuseppe Muscio

"Laghetti d'alta quota · Perle nel paesaggio di montagna"

a cura di Fabio Stoch

testi di

Marco Cantonati · Alberto Carton · Luca Lapini · Valeria Lencioni · Bruno Maiolini · Sergio Paradisi · Margherita Solari · Fabio Stoch

con la collaborazione di

Paola Zarattini

illustrazioni di

Roberto Zanella

progetto grafico di

Furio Colman

foto di

Nevio Agostini 67, 81, 92, 101, 139 · Archivio Museo Friulano di Storia Naturale (Tomas) 63, 65/1 · Archivio Museo Tridentino di Scienze Naturali (Cadin) 48 · Marco Cantonati 46, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 61, 62, 65/2, 96, 130, 131, 132, 133 · Stefano Caresana 26/2 · Alberto Carton 8, 12, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 123, 124, 125 · Carlo Càssola 103 · Compagnia Generale Ripresearee 30 · Ulderica Da Pozzo 38, 136, 138 · Adalberto D'Andrea 102, 105, 108, 110, 141 · Vitantonio Dell'Orto 6, 10, 14, 44, 60 · Angelo Leandro Dreon 114, 115, 116 · Paolo Fabbro 80 · Tiziano Fiorenza 117 · Luca Lapini 121 · Bruno Maiolini, 82, 84, 85, 87, 91, 97, 98, 99, 134 · Michele Mendi 118, 119/1 · Eugenio Miotti 111, 127 · Giuseppe Muscio 106, 129 · Paolo Paolucci 120 · Roberto Parodi 119/2 · Ivo Pecile 11, 41, 79, 89, 90, 128, 135, 143 · Roberto Seppi 13, 26/1 · Fabio Stoch 7, 42, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 88, 93, 94, 95, 126, 144, 145 · Augusto Vigna Taglianti 9, 15, 39, 45, 83, 86, 100, 122, 137 · Paola Zarattini 78 · Roberto Zucchini 112, 113, 142

Laghetti d'alta quota

Perle nel paesaggio di montagna

©2006 Museo Friulano di Storia Naturale · Udine

*Vietata la riproduzione anche parziale dei testi e delle fotografie.
Tutti i diritti sono riservati.*

ISBN 88 88192 25 5

In copertina: Laghetto di Avostanis (Alpi Carniche, Friuli Venezia Giulia, foto Ulderica Da Pozzo)

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO
MUSEO FRIULANO DI STORIA NATURALE · COMUNE DI UDINE

Quaderni habitat



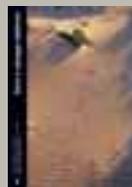
1
Grotte e
fenomeno
carsico



2
Risorgive
e fontanili



3
Le foreste
della Pianura
Padana



4
Dune e
spiagge
sabbiose



5
Torrenti
montani



6
La macchia
mediterranea



7
Coste marine
rocciose



8
Laghi costieri
e stagni
salmastri



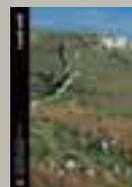
9
Le torbiere
montane



10
Ambienti
nivali



11
Pozze, stagni
e paludi



12
I prati aridi



13
Ghiaioni e
rupi di
montagna



14
Laghetti
d'alta quota



15
Le faggete
appenniniche



16
Dominio
pelagico



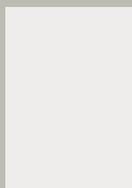
17
Laghi
vulcanici



18
I boschi
montani di
conifere



19
Praterie a
fanerogame
marine



20
Le acque
sotterranee



21
Fiumi e
boschi ripari



22
Biocostruzioni
marine



23
Lagune,
estuari
e delta



24
Gli habitat
italiani

Indice

Introduzione	7
Alberto Carton · Fabio Stoch	
Geomorfologia	15
Alberto Carton	
Flora	45
Marco Cantonati	
Invertebrati: lo zooplancton	67
Fabio Stoch	
Invertebrati: lo zoobentos	83
Valeria Lencioni · Bruno Maiolini	
Vertebrati	101
Luca Lapini · Sergio Paradisi	
Aspetti di conservazione e gestione	123
Marco Cantonati · Luca Lapini · Sergio Paradisi · Fabio Stoch	
Proposte didattiche	137
Margherita Solari	
Bibliografia	147
Glossario	151
Indice delle specie	153



Introduzione

ALBERTO CARTON · FABIO STOCH

“Perché mai l’acqua, caduta sulla montagna come pioggia o neve, nella sua corsa verso il basso, dilavando, abradendo, corrodendo, solcando, incidendo ed esportando, quasi non desiderasse altro che sfuggire al più presto dall’ambiente montano, tratto tratto invece vi si attarda in parte, arrestandosi in mille modi e luoghi ed in quantità svariatissime? Il perché è molto semplice ed unico: cioè alla libe-



Lago della Duchessa (Abruzzo)

ra discesa dell’acqua, per la grande legge generale della gravità, si oppone un ostacolo. Ma quale? Ecco qui che il problema da unico e semplice, come si presenta a primo tratto, si scinde in cento modi; giacché l’ostacolo può essere di natura la più diversa, avere l’origine la più svariata, presentarsi in modi differentissimi, di età, di forma, di ampiezza, di profondità”.

Così Federico Sacco, naturalista vissuto tra il XIX ed il XX secolo, autore di circa seicento opere di argomento geomorfologico e geologico, dalle quali traspare il fascino che su di lui esercitarono i grandi spettacoli della natura, aprì uno dei suoi lavori pubblicato nel 1926 sui laghetti d’alta quota.

Chiunque pensi ad un lago di questo tipo o più generalmente a quella categoria di specchi lacustri che sono associati al termine di “laghetto alpino”, materializzerà nella sua mente la classica immagine di un piccolo bacino incastonato in un verde bosco di conifere o adagiato in una assoluta conca tra sfasciumi di detriti e vette incombenti. Più semplicemente l’osservatore meno attento ai problemi naturalistici lo potrà definire come una raccolta d’acqua dolce contenuta in una depressione del terreno posta ad alta quota. Al di là di questi luoghi comuni o di semplici definizioni, il concetto di “laghetto alpino”, dal punto di vista strettamente scientifico, racchiude in sé una complessa serie di caratteristiche geomorfologiche e biologiche, necessarie affinché una raccolta d’acqua possa essere considerata lago d’alta quota (sia esso nelle Alpi o negli Appennini).

Ancor oggi, pur essendo in possesso di tecnologie avanzate per analizzare il territorio come le immagini telerilevate e le ortofotocarte, che ci potrebbero fornire

8 quasi in tempo reale indicazioni sul numero, sull'altitudine e sull'ubicazione dei laghetti alpini, manca un censimento completo sui laghi d'alta quota, per la difficoltà oggettiva che esiste nell'individuare i limiti che permettono di separare nettamente un lago alpino da uno stagno, una pozza, un ristagno fluviale o una raccolta d'acqua temporanea. In uno dei primi lavori di carattere sistematico a livello nazionale sui laghi alpini, il Tomasi identifica la seguente serie di condizioni affinché un bacino abbia la "dignità" di fregiarsi del titolo di lago d'alta quota:

- possibilità di individuazione, nelle cause che hanno determinato l'origine, di motivi che ne garantiscono una certa durata nel tempo;
- erogazione delle acque insignificante in rapporto al volume del bacino;
- non eccessiva oscillazione del livello delle acque (esclusione quindi dei laghi ciclicamente asciutti o ridotti vistosamente di volume);
- presenza di uno specchio libero d'acqua con una profondità tale da non permettere la colonizzazione per tutta la sua estensione della flora litorale né l'affioramento continuo di prodotti di riempimento.

Secondo altri autori un lago d'alta quota può dirsi veramente tale solo se si tratta di una raccolta d'acqua permanente, nella quale almeno gli strati più profondi sono sottratti all'influenza delle variazioni giornaliere di temperatura; altrimenti sarebbe più opportuno parlare di pozze d'alta quota permanenti. Al di là comunque di queste teorie, che gli stessi studiosi di limnologia riconoscono avere margini di incertezza e di soggettività, quello che affascina maggiormente nello studiare e nell'osservare un laghetto alpino è la sua estrema

9 dinamicità. Nessun fenomeno in natura è forse così effimero e pochi altri così mutevoli in tempi umanamente commensurabili; ciò è dovuto al fatto che la nascita, la durata nel tempo e l'evoluzione di un laghetto d'alta quota sono strettamente legati al tipo di cause che hanno generato il contenitore in cui si raccoglie l'acqua ed all'ambiente circumlacuale. Da qui la necessità di comprendere la sua genesi e la sua evoluzione.

Poiché la maggior parte dei laghi d'alta quota è di origine recente, per lo più postglaciale (meno di 10.000 anni di età) ed alcuni si stanno ancora formando per il ritiro dei ghiacciai, per i limnologi si pone l'interessante problema dell'origine delle loro comunità biologiche. Non è casuale che i pionieristici lavori della grande idrobiologa Rina Monti, apparsi nella prima metà del secolo scorso, siano proprio dedicati all'origine e alla "dispersione delle limnofaune".

Sebbene l'ecologia nel corso di un secolo abbia compiuto passi da gigante, le teorie della Monti mantengono ancora oggi la loro validità: la colonizzazione attiva lungo gli emissari, quella passiva per trasporto di individui e stadi di quiescenza ad opera degli agenti atmosferici (acque piovane, vento) o di vettori (prevalentemente uccelli o grossi mammiferi, ma anche insetti volatori o l'uomo stesso) sono ancora le spiegazioni più plausibili sull'origine della fauna dei laghi d'alta quota. Le specie possono aver colonizzato i laghetti provendo sia da massicci di rifugio (cioè quelle aree rimaste libere all'interno dei grandi ghiacciai quaternari, che i naturalisti chiamano *nunatakke*), sia da aree marginali seguendo il ritiro dei ghiacci. In alcuni casi le popolazioni che han-



Il lago di circo di Bombasel (Lagorai, Trentino Alto Adige)



Laghetto superiore di Roburent (Alpi Cozie, Piemonte)



Disgelo in un lago del Massiccio del Bernina, al confine italo-svizzero

no colonizzato un laghetto d'alta quota sono rimaste "intrappolate" in questo ambiente, circondate da un territorio generalmente più caldo e privo di acque superficiali: è questa l'origine dei numerosi "relitti glaciali" presenti lungo l'Appennino. Una volta colonizzato un laghetto d'alta quota, gli organismi devono però confrontarsi con le condizioni ambientali che sono tanto più severe quanto più elevata è la quota del bacino.

La breve durata del periodo di clima mite favorevole alla crescita ed alla riproduzione, le condizioni di oligotrofia delle acque (cioè la scarsità di materia organica disponibile per il nutrimento) e l'elevata intensità delle radiazioni ultraviolette richiedono

adattamenti che solo poche specie possiedono. Ne consegue la bassa biodiversità di questi ambienti, di grande interesse conservazionistico.

L'interesse dei laghetti di montagna, che sono sempre stati affascinanti sia per il naturalista che per il semplice escursionista, la scarsità o assenza nel panorama editoriale italiano di opere divulgative di sintesi che ne riassumano le caratteristiche geomorfologiche, idrochimiche e biologiche, ha suggerito la stesura di questo nuovo volume dei Quaderni Habitat. Chi però immagina di scoprire dalla lettura che i laghetti d'alta quota sono ambienti remoti e incontaminati rimarrà purtroppo deluso. Sebbene questi ambienti soffrano meno degli effetti delle attività umane rispetto a quelli di fondovalle o di pianura, i pericoli che ne minacciano la sopravvivenza come ecosistemi sono numerosi. La massiccia frequentazione turistica, l'utilizzo per scopi idroelettrici o come risorsa idropotabile, l'indiscriminata immissione di specie ittiche anche nei bacini posti a quote più elevate, l'eutrofizzazione dovuta all'apporto di composti organici prodotti dalle attività umane, l'acidificazione e l'apporto di inquinanti (anche metalli pesanti) con le deposizioni atmosferiche, l'aumento della radiazione ultravioletta causata dalla riduzione dell'ozono nell'atmosfera, l'innalzamento della temperatura ed il ritiro dei ghiacciai, causati dal cambiamento climatico globale, sono concrete minacce che il volume evidenzia in modo chiaro e spietato. Si tratta di un S.O.S. lanciato in difesa delle "perle di montagna", cioè di alcuni degli ambienti di maggior fascino e di più rara bellezza del nostro Paese.



Uno dei laghetti Kofler (Trentino Alto Adige)

La toponomastica dei laghi alpini è estremamente varia ed interessante. Un gran numero di bacini prende il nome da toponimi esistenti nelle vicinanze antepo- nendo semplicemente il termine lago; altri non hanno nome e vengono solo battezzati nei catasti con un poco pittoresco termine di Lago 1, Lago 2 ecc. Molto più interessanti sono invece quei nomi che raccolgono la testimonianza della prima impressione dei montanari quando ne hanno scoperto l'esistenza. Sono nomi che vanno talvolta molto indietro nel tempo, anche dialettali e che spesso purtroppo gli aggiornamenti cartografici hanno storpiato o italianizzato. Si riferiscono al colore, alla forma, al clima, alla vegetazione, alla fauna, agli elementi del paesaggio antropico e a quello geografico fisico, alle leggende o a fatti presumibilmente accaduti lungo le loro sponde. Numerosi toponimi fanno riferimento al colore che, al di là dell'azzurro proprio dell'acqua otticamente pura, nei laghi è modificato, oltre che da situazioni locali (colore del cielo, ambiente in cui è inserito il bacino), anche dalle sostanze e dagli organismi presenti nel lago. Troviamo

quindi una serie di toponimi come Lago Turchino, Lago Bianco, Lago Verde, Lago Scuro o Lago Nero (quanto le acque sono abbastanza profonde). Alla forma è associata un'altra nutrita serie di appellativi: oltre al banale termine Lago Grande, Lago Piccolo, troviamo Lago Rotondo, spesso attribuito ai laghi di circo o di origine carsica, Lago Lungo, assegnato ai laghi di origine tettonica od a quelli che hanno subito una riduzione areale lungo una sponda, Lago Ritorto dato a quelli che hanno una forma piuttosto irregolare per la presenza di conoidi o falde di detrito che spingono il loro piede nel lago. Alcune forme di piccole dimensioni abbandonano il generico termine di "Lago Piccolo" e si affidano ad appellativi locali quali Laghisol, Lagusel, Lagoscin, Lagolo.

Qualche lago ricorda nel suo nome le condizioni climatiche: Lago Gelato, Lago Ghiacciato, Lago de le Giazère o Giasàre. Sovente questi nomi sono dati ai laghetti d'alta quota di circo, quelli che in tarda primavera, inizio estate mostrano ancora parte dello specchio lacustre gelato o con piccoli *iceberg*.



Il Lago Scuro (Trentino Alto Adige) deve il suo nome alla trasparenza e profondità delle sue acque che risultano così molto scure

In virtù della vegetazione prospiciente o dell'animale che frequenta la zona del laghetto, si possono trovare toponimi tipo: Lago di Lares (larice), Lago Pezzè (pezzo, pino), Lago Marmotta, Lago Corvo, Lago Cauriol o Caoriol (capriolo).

Altri laghi prendono il nome da pioniere strutture antropiche o da tracce della presenza umana, in alcuni casi oggi non più esistenti. Ci si può quindi imbattere in Lago Malghette, Lago Casera, Lago Casina, Lago di Campo, Lago Campagnola, Lago Ponticello, Lago Ponte Vecchio. Estremamente interessanti dal punto di vista geografico fisico sono infine i nomi riferiti a situazioni geologiche o geomorfologiche. Alcuni ricordano ciò che il paesaggio limitrofo propone, come Lago Soprasasso, Lago delle Selle (vicino ai passi), Lago Cadino o Cadinel (spesso per i laghi di circo), Lago della Cengia o Lago Coston (in prossimità di scarpate), Lago Lastei (vicino a rocce stratificate a lastroni), Lago Vedretta (in vicinanza di ghiacciai, oggi spesso non più esistenti), Lago di Limo per bacini che hanno o che hanno avuto abbondante limo in sospensione, posti quindi

vicino a ghiacciai. Laghi con queste caratteristiche assumono spesso anche il toponimo di Lago Blu, in virtù della tipica colorazione che il sedimento in sospensione conferisce alle acque. Numerosi poi sono gli appellativi dati ai laghi che confinano con zone a ristagno d'acqua: Lago di Pian Palu, Lago Pozza, Lago Paludei, Lago delle Buse, o in prossimità di sorgenti: Lago delle Moie, Lago delle Prese. Innumerevoli poi sono i bacini denominati Lago Nuovo, a sottolineare la loro neoformazione, toponimo valido per quando era stato attribuito, ma ora non più in cronologia con l'evento. Al di fuori di ogni legame con la realtà, ma affascinanti perché connessi con le tradizioni popolari, sono i vari nomi legati alle leggende: Lago delle Strie (streghe), Lago del Diavolo, o un più generico Lago Brutto.

La serie di nomi analizzata rappresenta solo un saggio di quanto esiste nell'ambito della vastissima toponomastica lacustre; per gli appellativi qui citati non si fa alcun riferimento geografico, in quanto numerosissimi sono i bacini che portano queste denominazioni.



Il Lago Nuovo, formatosi alla metà del XX secolo per il ritiro del ghiacciaio del Mandrone (Trentino Alto Adige)

Geomorfologia

ALBERTO CARTON

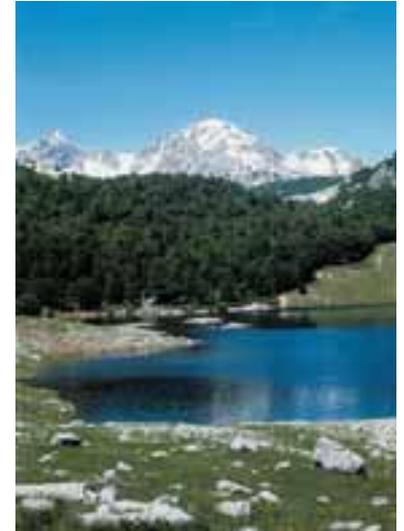
■ La genesi dei laghi d'alta quota

Numerose sono le ragioni per cui sulla superficie terrestre si possono generare depressioni idonee a trattenere le acque; trattandosi nel caso specifico di laghetti d'alta quota, le cause sono prevalentemente legate al fenomeno del glacialismo e subordinatamente ad alcuni processi di degradazione dei versanti quali le frane e le conoidi detritiche o alluvionali.

Più rari, ma non per questo meno interessanti, sono i laghetti ospitati in conche di origine carsica, tettonica e in depressioni connesse con la presenza di lembi discontinui di *permafrost*. Ci si riferisce in quest'ultimo caso ai laghetti ospitati sul dorso dei

rock glacier o da essi sbarrati. Va comunque sottolineato che spesso la formazione di una conca lacustre è generata dalla coesistenza di più cause. Un esempio di questo tipo è il ben noto Lago di Antermoia nel cuore del Gruppo del Catinaccio nelle Dolomiti. Oltre all'erosione glaciale, il laghetto in questione trova origine in una conca di origine carsica, sbarrata a sua volta su un lato da una frana; ma la genesi più affascinante è forse quella tramandata dalla tradizione popolare che gli attribuisce una quarta origine, quella del sortilegio, narrata in una leggenda di streghe e di demoni raccolta nelle "Dolomiten Sagen" di C.F. Wolf.

Laghi di origine glaciale. Per quanto riguarda l'origine glaciale delle conche, la casistica si fa estremamente articolata ed annovera fondamentalmente due condizioni: la prima in cui lo specchio lacustre è ancora in diretta relazione con il ghiacciaio, la seconda in cui il bacino si colloca in ereditate morfologie glaciali di erosione e/o di accumulo.



Lago Vivo (Parco Nazionale d'Abruzzo)



Lago d'Arpy (Val d'Aosta)

L'elenco che segue evidenzia la varietà di tipi:

- Laghi epiglaciali
- Laghi marginali
- Laghi di sbarramento glaciale
- Laghi in conche dovute a fusione di ghiaccio morto
- Laghi di sbarramento morenico
- Laghi intermorenici
- Laghi di circo
- Laghi in conche tra rocce montonate

Quando le acque di fusione che scorrono sul dorso di un ghiacciaio convergono in cavità occluse, in conche o nel cavo di ondulazioni presenti sulla superficie della lingua glaciale, si originano i laghi epiglaciali. Occupano anche depressioni da fusione, depressioni termocarsiche, porzioni allargate di canali sopra-glaciali e crepacci poco profondi. Frequenti e soprattutto visibili nella stagione estiva, in concomitanza con la massima fusione, si trovano nei tratti meno acclivi della lingua glaciale. Assumono spesso la tipica forma ad imbuto o a dolina asimmetrica e sono frequenti sulla superficie dei ghiacciai completamente ricoperti di detrito. Sono alimentati dall'acqua di fusione delle pareti stesse del laghetto, da quella che scorre in modo pellicolare sul ghiacciaio o da un vero e proprio immissario, chiamato *bédière*. Molto più criptato è il loro drenaggio che può avvenire in corrispondenza di piccoli inghiottitoi non visibili o



Il Lago di Antermoia (Dolomiti di Fassa, Trentino Alto Adige) ha una genesi mista: la conca che lo ospita è stata scolpita dal ghiacciaio e da processi carsici e una frana ne completa lo sbarramento

lungo fessure e crepe nel ghiaccio, che comunicano con condotti subglaciali. La posizione dello specchio lacustre è mutevole nel tempo perché segue il flusso di scorrimento della lingua glaciale. L'apparizione ma soprattutto l'estinzione di questi bacini è in genere quanto mai repentina, specie quando il "contenitore" viene improvvisamente lacerato dall'apertura di crepacci.

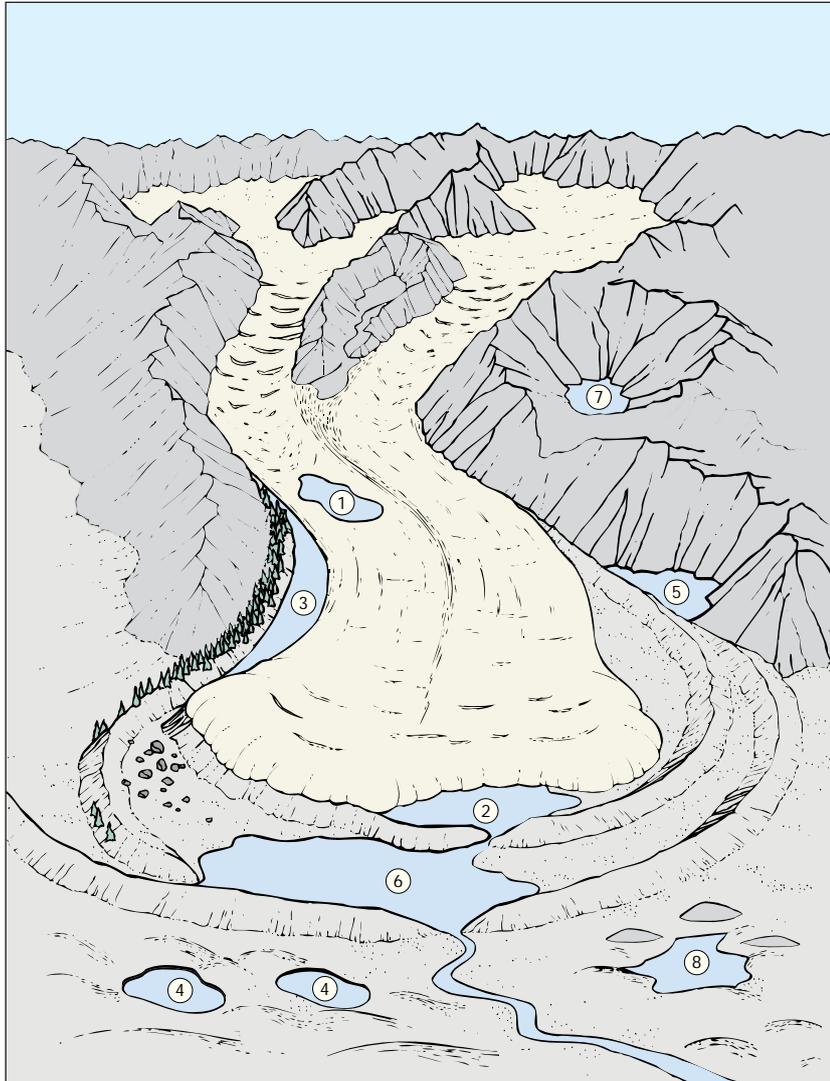
Anche i laghi marginali sono, sia pur parzialmente, a diretto contatto con il ghiaccio; presenti ai margini delle lingue glaciali, trovano collocazione in depressioni tra ghiaccio e roccia e tra ghiaccio ed argini morenici. La loro ubicazione più frequente è in prossimità della fronte glaciale, più rari quelli ubicati lateralmente al ghiacciaio. Si generano durante le fasi di ritiro, quando la lingua glaciale libera spazio tra se stessa e le ultime morene frontali deposte o si contrae, distaccandosi dalle morene laterali. Nel primo caso lo specchio d'acqua è alimentato esclusivamente attraverso canali subglaciali o proglaciali e muta forma e dimensioni abbastanza rapidamente in



Il tracciato di alcuni immissari (*bédière*) che alimentano temporaneamente i laghi epiglaciali



Il lago epiglaciale, chiamato "Lago Effimero", formatosi sul dorso del Ghiacciaio del Belvedere (M. Rosa, Piemonte) nelle estati 2001 e 2002



- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 lago epiglaciale | 5 lago di sbarramento morenico |
| 2 lago marginale | 6 lago intermorenico |
| 3 lago di sbarramento glaciale | 7 lago di circo |
| 4 laghi in conche dovute a fusione di ghiaccio morto | 8 lago in conca tra rocce montonate |

Vari tipi di laghi di origine glaciale

relazione alla posizione della fronte glaciale ed alla profondità del solco che l'eventuale emissario incide nella morena che lo sostiene. Nel secondo caso il bacino, solitamente di forma allungata, è alimentato dalle acque che possono scorrere al lato del ghiacciaio. Molti di questi specchi lacustri si sono generati a seguito del forte ritiro dei ghiacciai avvenuto dopo la Piccola Età Glaciale e per tanti di essi è possibile documentare la loro formazione, evoluzione ed alcune volte sparizione semplicemente confrontando carte topografiche di diversa levata. Un bell'esempio di specchio lacustre marginale è rappresentato dal Lago del Miage nel gruppo del M. Bianco, il cui bacino ha come sponde da una parte una ripida falesia di ghiaccio e dall'altra il fianco interno di una morena.

I laghi completamente sbarrati dai ghiacciai sono attualmente assenti nel versante italiano dell'arco alpino, ma sono esistiti in un passato recente, come dimostrato dalla documentazione storica e dalle cronache. Un bacino di questo tipo si forma quando una lingua glaciale, a seguito di un'avanzata a volte anche repentina, intercetta un asse vallivo confluyente inibendo lo smaltimento delle acque, oppure occlude tratti di valle percorsi dai suoi stessi scaricatori fluvio-glaciali. Noti nelle nostre Alpi sono il lago generatosi sul finire del XIX secolo nella Val Martello in posizione antistante la Vedretta Lunga, sbarrato da una lingua della Vedretta del Cevedale e quello del Ruitor, presente durante la massima espansione della Piccola Età Glaciale con estensione maggiore rispetto all'attuale, e sbarrato dalla fronte a falesia dell'omonimo ghiacciaio. L'alimentazione



Il lago marginoglaciale del Miage (Val Venj, Monte Bianco, Val d'Aosta): il bacino è sorretto da argini morenici e da una falesia in ghiaccio scolpita nella lingua del ghiacciaio

La morfometria di un lago

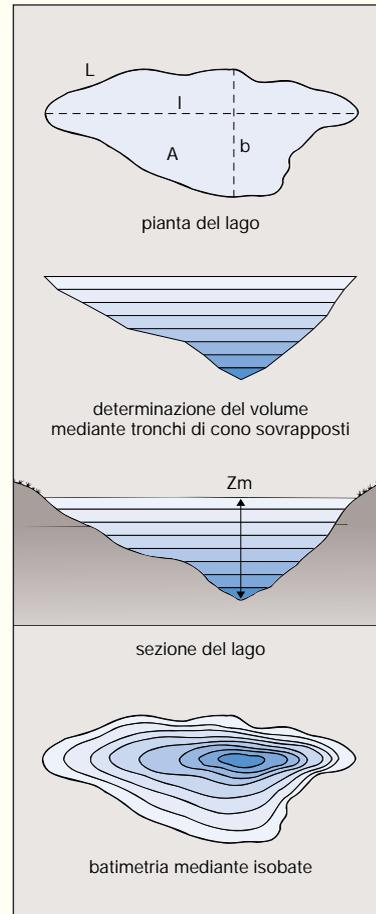
Alberto Carton

La morfologia di un bacino lacustre influenza molti parametri fisico-chimici e biologici delle acque. La forma dei laghi è molto varia e rispecchia la loro origine e le successive modificazioni operate dell'acqua e gli apporti provenienti dal bacino di drenaggio. I parametri comunemente utilizzati negli studi limnologici sono:

- Lunghezza (l): distanza minima tra i due punti più lontani del perimetro.
- Larghezza massima (b): linea perpendicolare alla lunghezza nel punto più largo.
- Larghezza media (b_{med}): rapporto tra superficie (A) e lunghezza (l).
- Superficie (A): influenzata dalle variazioni di livello soprattutto nei laghi dalle sponde poco inclinate.
- Linea di costa (L) o perimetro del lago: intersezione del terreno con la superficie lacustre.
- Sviluppo della linea di costa (Dl): rapporto fra perimetro (L) del lago e perimetro di un cerchio avente la stessa superficie.
- Profondità massima (Z_m): profondità del lago nel punto più fondo.
- Profondità media (z_{med}): rapporto fra volume (V) e superficie (A).
- Batimetria: rappresentazione della conca sommersa attraverso delle linee di eguale profondità (isobate).
- Volume (V): viene calcolato mediante formule che considerano il lago costituito da tanti tronchi di cono sovrapposti gli uni agli altri.
- Sviluppo del volume (Dv): rapporto tra volume (V) del lago e volume di un cono avente come base la superficie (A) del lago e come altezza la sua profondità massima (z_m).
- Rapporto tra la superficie (B) del bacino imbrifero e quella del lago (A): parametro importante in quanto definisce quanto il bacino idrografico influenza le caratteristiche fisico-chimiche del lago.



Un tipico laghetto alpino: il Lago Federa (Dolomiti Ampezzane, Veneto)



di questi specchi d'acqua è normalmente garantita dagli scaricatori, dalle acque di fusione subglaciali e dai ruscelli che percorrono gli eventuali versanti adiacenti. Lo smaltimento delle acque avviene di solito attraverso vie di drenaggio subglaciali che possono fuoriuscire dal margine frontale della lingua stessa o da canali marginali subaerei generati per sfioramento del lago.

Abbastanza rari sono anche i laghi ubicati in conche dovute a fusione di ghiaccio morto. Si definisce ghiaccio morto quello che costituisce masse che non sono né alimentate né sospinte verso valle da un ghiacciaio attivo. Si generano per distacco e conseguente isolamento di porzioni di ghiaccio nel corso di una fase di ritiro del ghiacciaio cui appartenevano, e si mantengono a lungo in quanto la loro



Sulla sinistra in alto il laghetto del Miage e in basso sulla destra il Lago di Combal (Monte Bianco, Val d'Aosta) che fino a poco tempo fa costituiva un esempio di lago di sbarramento morenico, mentre oggi è una torbiera

fusione è ritardata per la protezione del detrito che le ricopre. Nel tempo, comunque, anch'esse lentamente fondono e nello spazio lasciato libero si formano delle cavità (*kettles*, *kettle-holes*) che possono ospitare corpi idrici, la cui permanenza è assicurata fin tanto che sul fondo della depressione resta del ghiaccio che ne garantisce l'impermeabilizzazione. I laghetti di questo tipo sono di piccole dimensioni ed hanno una vita relativamente breve.

L'idrografia di un solco vallivo o di un versante può essere ostacolata nel suo deflusso anche da argini morenici, edificati in posizione tale da poter generare un lago di sbarramento morenico. Ciò avviene quando una morena, solitamente di sponda, sbarra un tratto di versante, o una valle laterale confluyente. L'alimentazione del lago è fornita dall'idrografia che è stata intercettata dallo sbarramento, mentre l'emissario si individua quasi sempre nel luogo in cui si origina un naturale sfioratore, inciso nella morena nel punto in cui l'argine si addossa, verso valle, al versante o dove la cresta dell'argine presentava in origine una debole flessione. Un bell'esempio di lago di sbarramento morenico, anche se oggi deve essere considerato una torbiera, è rappresentato dal Lago di Combal nel Gruppo del M. Bianco. Di più piccole dimensioni, ma altrettanto caratteristico è il Lago delle Rosole sul lato destro del Ghiacciaio del Forni dove il fianco esterno della morena laterale destra si addossa al versante individuando un solco, originariamente a V, oggi occupato dalle acque.

Vengono definiti laghi intermorenici quelli ubicati tra due argini adiacenti e da essi sostenuti. Possono essere in linea di massima paragonati ai laghi di sbarramento morenico, l'unica differenza è che sono completamente sorretti lungo l'intero loro perimetro da depositi glaciali. Sono di dimensioni molto variabili, in funzione dello spazio che intercorre tra un argine e l'altro. Gli argini in questione appartengono per lo più alla categoria delle morene recessionali, che corrispondono a valli deposti in momenti di pausa durante il generale ritiro dei ghiacciai. Immissario ed emissario sono costituiti da una tradizionale idrografia che serpeggia tra le morene, incidendo in alcuni punti gli stessi argini. I laghi intermorenici e quelli sorretti da morene frontali, sono quelli che, tra i laghetti alpini di origine glaciale, raggiungono di solito le maggiori dimensioni.

Tra i vari tipi di lago di origine glaciale, quello più frequente e noto è il lago di circo. Alberga solitamente alle quote più elevate ed occupa nicchie scavate nei fianchi montuosi dai piccoli ghiacciai di circo, o dalla parte iniziale di ghiacciai vallivi. Lo specchio d'acqua, di perimetro quasi sempre circolare o ellittico, è ospitato in un recinto che si presenta come una "poltrona a braccioli", è ubicato nel fondo del circo, in una conca originariamente scolpita in roccia, generata per sovraescavazione, ed è sostenuto verso valle da una soglia in roccia in contropendenza sulla quale spesso si sovrappone un cordone morenico frontale. È per questo ultimo motivo che sovente i catasti dei laghi alpini portano, per i laghi di circo, una doppia genesi: per escavazione e sbarramento. In



Il lago proglaciale delle Locce (Monte Rosa, Piemonte) e l'omonimo ghiacciaio che lo alimenta

posizione frontale è presente lo scaricatore, il cui alveo incide, se presente, l'argine morenico e si arresta o solca di poco la soglia rocciosa che stabilisce quindi il livello di base dello specchio lacustre. Le dimensioni di questi laghi non variano di molto nell'arco dell'anno, in quanto ad una alimentazione quasi esclusivamente derivante dalla fusione delle nevi corrisponde un proporzionale emungimento lungo lo sfioratore.

Durante i mesi estivi, periodo in cui l'alimentazione è legata esclusivamente alle precipitazioni meteoriche, il livello si stabilizza di poco sotto alla soglia, in quanto il lago di circo, pur essendo apparentemente adagiato tra detriti grossolani e quindi molto drenanti, poggia spesso su un substrato impermeabile costituito dalla roccia, ulteriormente impermeabilizzato dalla presenza di sedimenti argillosi, provenienti dalla degradazione delle pareti circostanti, trasportati nel lago dalle acque di ruscellamento ed ivi decantati. Il lago di circo resta mascherato alla vista fino alla primavera inoltrata ed in alcuni casi sino all'inizio dell'estate, purché le conche in cui si trova siano quelle che ospitano la neve più a lungo essendo normalmente rivolte a Nord ed ubicate a quote elevate.

Nell'arco alpino, l'ambiente in cui generalmente si colloca questo tipo di lago non è colonizzato dalla vegetazione continua; solo in rari casi si inserisce al limite della prateria alpina. Altrove, dove le glaciazioni hanno insistito in tempi e modi differenti, come in Appennino, i laghetti di circo sono inglobati in piani altitudinali completamente differenti. Spesso i laghi di circo si



Il lago di sbarramento morenico delle Rosole (Gruppo Ortles Cevedale, Lombardia)

trovano in più esemplari disposti uno in fianco all'altro sotto le dorsali, o lungo un asse vallivo in una successione a gradinata. Nel primo caso ricalcano la tipica morfologia dei "circhi a spalliera", nel secondo caso, quella dei "circhi a gradinata".

Il ritiro dei ghiacciai ha scoperto sul terreno numerose depressioni tra rocce montonate, generate da erosione e sovraescavazione, all'interno delle quali si può raccogliere l'acqua. I laghi in conche tra rocce montonate, proprio perché scolpiti su roccia in posto (alcune volte rivestita da depositi glaciali) tendono ad essere più stabili nel tempo rispetto ad altri laghi fin qui descritti. Questi bacini si trovano spesso associati in più esemplari e le loro geometrie esaltano i motivi strutturali, lungo i quali si sono sviluppati i dossi. La forma di questi laghetti, di profondità assai esigua, è per lo più ellissoidica.

Non esiste, generalmente, una vera e propria idrografia che rifornisca e drena questo tipo di specchi d'acqua; la loro maggior alimentazione deriva dall'acqua di fusione delle nevi e dalle precipitazioni, tanto è vero che nel cuore dell'estate molti di essi sono occupati da effimere pozze d'acqua. Solo nei casi in cui lo scaricatore glaciale attraversa zone con rocce montonate, i laghetti che si generano sono costantemente alimentati e generano un paesaggio con tanti piccoli "occhi d'acqua" collegati tra loro da rivoli e cascate. Le forme più eclatanti si rinvengono nelle aree che sono state recentemente abbandonate dalle lingue glaciali dove le conche tra rocce montonate non sono ancora state colmate da detriti.



Lago del Frati (Valle dell'Avio, Gruppo dell'Adamello, Lombardia), sbarrato da conoidi detritiche di versante

Laghi di origine non glaciale. Molti laghi d'alta quota devono la loro esistenza anche ad altri processi che modellano la superficie terrestre. Tra le genesi più frequenti troviamo i laghi di sbarramento da frana, un tipo molto rappresentato e di "semplice realizzazione", presente in tratti di valle percorse da torrenti che sono stati improvvisamente occlusi da materiale degradato dalle pendici circostanti. Numerosi sono i motivi che possono aver innescato il fenomeno franoso, in ogni caso le cause sono quasi sempre collegate alle condizioni di instabilità della roccia; l'immissario è costituito dal corso d'acqua che è stato occluso, mentre l'emissario si genera per sfioramento di "troppo pieno" sul corpo di frana. Nelle fasi iniziali di formazione del lago, l'emissario può anche mancare in quanto il drenaggio del bacino può avvenire per infiltrazione attraverso il corpo di frana che, a seconda del tipo di detrito che lo compone, può essere più o meno permeabile. Questi bacini lacustri possono durare a lungo nel tempo oppure avere vita effimera; estinzioni possono essere dovute all'emissario che incide in tempi relativamente brevi la soglia costituita da materiale facilmente degradabile (detrito incoerente) o perché lo sbarramento non resiste alla pressione delle acque che si vanno accumulando. È evidente che la tipologia e soprattutto la natura del materiale franato giocano un ruolo importante per il mantenimento del bacino.

Sempre connessi a episodi franosi, ma più rari, sono i laghetti che si collocano nelle conche presenti sul dorso del corpo di frana; in questo caso lo specchio lacustre è completamente circondato dai detriti. Normalmente questi "laghi interni di frana" si generano in un secondo momento quando l'originale scarsa impermeabilità del corpo di frana va via via aumentando per l'accumulo di detriti fini e resti vegetali.

Un tratto di valle può venir sbarrato anche da un conoide detritico o alluvionale, creando laghi di sbarramento da conoide detritica o alluvionale. I primi si formano generalmente nelle parti alte delle vallate verso le testate dove la degradazione delle rocce, legata al crioclastismo, è particolarmente efficace e genera imponenti conoidi detritici in rapida evoluzione. Sono solitamente privi di immissario ed emissario: l'alimentazione deriva dallo scioglimento delle nevi e dalle precipitazioni meteoriche e il drenaggio per assorbimento nei detriti. Anche in questo caso la conca che si genera può restare priva di acqua per molto tempo; solo dopo una sua impermeabilizzazione da parte di detriti fini trasportati dal ruscellamento potrà apparire lo specchio lacustre.

Più complessa è invece la genesi di un lago di sbarramento da conoide alluvionale. Affinché la base del conoide si accresca in modo tale da poter diventare motivo di sbarramento all'idrografia intercettata, la capacità erosiva del torrente, che genererà successivamente il lago, dovrà essere tale da non asportare i detriti che edificano la conoide. In caso contrario l'occlusione non avverrà. Spesso l'accrescimento delle conoidi alluvionali in paesaggio alpino



Lago di sbarramento da *rock glacier* (Val de La Mare, Ortles, Trentino Alto Adige)



Il Lago Schiantalà (Monviso, Piemonte), di origine termocarsica

è affiancato anche dall'attività dei *debris flows*. Questi ultimi, essendo fenomeni impulsivi, contribuiscono notevolmente ed in tempi brevi ad accrescere lo sbarramento.

Assai rari e forse presenti nelle nostre regioni in pochi esemplari, sono i laghi generati dallo sbarramento di un *rock glacier*. Anche in questo caso il meccanismo è molto semplice: è sufficiente che il "ghiacciaio di pietre" nel lento movimento verso valle, non esaurisca la sua attività lungo un versante, ma raggiunga l'asse vallivo in modo da interferire con la linea di impluvio e generare uno sbarramento. Il corpo di un *rock glacier* può essere idoneo anche per ospitare altri singolari tipi di laghetto alpino: i laghi di origine termocarsica. Questi fenomeni sono dovuti alla fusione di porzioni di ghiaccio presenti nel *rock glacier*, a seguito di una diminuzione locale della copertura detritica che

funge da isolante con l'ambiente esterno. Si manifestano di solito localmente con episodi di collasso o con la formazione di conche entro le quali si raccoglie l'acqua. L'impermeabilizzazione della depressione è assicurata dalla presenza sul fondo di detrito gelato o di ghiaccio che normalmente affiora anche lungo le pareti. Assumono quasi esclusivamente forma circolare e sono alimentati dalle acque di fusione della neve del ghiaccio del *rock glacier* e dalle precipitazioni meteoriche. La loro durata è imprecisabile: da una stagione a più anni. Il laghetto di Schiantalà ad esempio, ubicato sul dorso di un imponente *rock glacier* nell'omonimo vallone nel Gruppo del Monviso, è presente da più di vent'anni.

Nei settori meridionali ed orientali della Catena Alpina dove abbondano le rocce calcaree, si possono incontrare anche laghi di origine carsica. Le conche frequenti sugli altopiani carbonatici sono in questo caso scolpite nella roccia a seguito di processi di dissoluzione. La stessa tipologia di laghi si rinviene anche in corrispondenza di litotipi gessosi. Non è sempre comunque il carsismo il fattore più importante nella creazione della conca, ma come spesso accade in natura può essere semplicemente un elemento che contribuisce ad accentuare una precedente forma glaciale o strutturale. Caratteristiche dei laghi di origine carsica sono la mancanza di immissario ed emissario, sostituiti

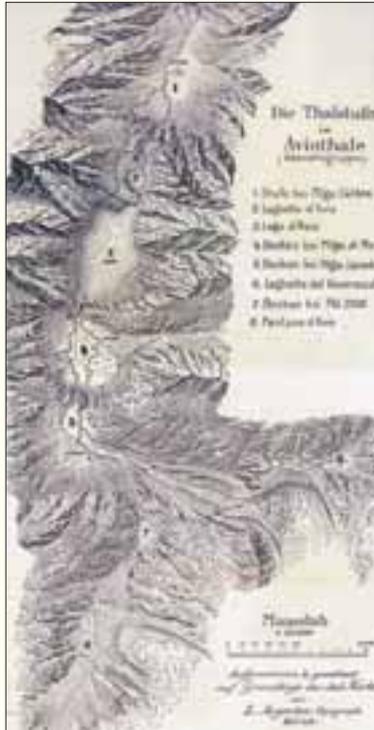
da fessure e canali sotterranei; spesso all'emissario si sostituisce la sola evaporazione. Sono normalmente presenti in gruppi e/o disposti in pseudo allineamenti che marcano l'ubicazione di motivi strutturali.

L'influenza della tettonica nella creazione di un laghetto alpino non è cosa semplice da individuare. Considerando poi la ridotta dimensione che assumono per definizione i laghi d'alta quota, non ci si deve aspettare di trovare bacini racchiusi in fosse tettoniche o in depressioni di sinclinali come i veri e propri laghi di origine strutturale presenti sulla superficie terrestre. Molto più semplicemente l'influenza della tettonica nella creazione di una depressione di laghetto d'alta quota, va ricercata nel ruolo che faglie, fratture e pieghe locali hanno nel generare condizioni idonee per l'accumulo di acque circolanti in superficie.

Il contatto per faglia di rocce a diversa erodibilità può generare morfoselezione, a fronte della quale si possono originare zone depresse; dislocazioni di vario tipo sono in grado di creare nella roccia punti di debolezza lungo i quali i tradizionali fenomeni di erosione scavano conche. Il "muro" di alcune faglie infine può essere utilizzato a sostegno dello specchio lacustre. Ad esempio i numerosi laghi di Lusia, ubicati nel fianco occidentale della catena di Bocche in Val di Fassa, sono posizionati lungo una depressione impostata in prossimità di una frattura che attraversa i porfidi, mentre il Lago Pirola mostra la sponda settentrionale, ad andamento parzialmente falciforme, impostata lungo una frattura la cui traccia è visibile anche nella topografia adiacente.



Il Laghetto di Pozze (Passo di S. Pellegrino, Veneto), di origine carsica



Valle dell'Avio, Adamello: stralcio di carta topografica del 1898, che rappresenta una successione di laghi impostati in una serie di conche di sovraescavazione a gradinata; alcune depressioni appaiono occupate da laghetti (2, 3, 6), altre ospitano paludi (4, 8), le rimanenti appaiono colmate di detriti; opportunamente modificate le depressioni (2, 3, 4) hanno in seguito recepito altrettanti laghi artificiali.



Un esempio di sfruttamento di lago naturale per la costruzione di un bacino artificiale: il Lago Baitone (Adamello, Lombardia). È evidente come a seguito della costruzione della diga, visibile sulla carta topografica di destra lungo la riva meridionale, il bacino abbia cambiato dimensioni e forma, occupando anche parte di territorio verso monte. Per quanto riguarda la sponda sud, lo sbarramento artificiale ha solo intercettato le acque nella gola in cui era ubicato l'emissario, mentre l'altra metà ha sfruttato un dosso naturale in roccia (soglia glaciale) evidenziato in rosso.



Carta topografica del 1885 aggiornata nel 1912



Carta topografica del 1936 aggiornata nel 1962

(DAI TIPI DELL'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE. AUTORIZZAZIONE N. 6145 DEL 01.02.86)

(DAI TIPI DELL'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE. AUTORIZZAZIONE N. 6145 DEL 01.02.86)

Nella serie dei bacini fin qui esaminati andrebbero inseriti anche quelli artificiali presenti numerosi in alta quota, edificati fino a tutti gli anni '80 anche dopo l'evento drammatico del Vajont. Molti di questi sono stati costruiti nello stesso areale in cui si trovano altri laghi, ma è discutibile se essi appartengano alla stessa categoria dei laghi alpini. Differiscono da quelli naturali, infatti, per dimensioni e soprattutto per profondità; la maggior parte di essi trova origine da uno sbarramento di una valle a seguito del quale, il solco principale e le valli confluenti vengono lambite dalle acque originando perimetri spesso articolati se non anche ramificati. L'immissario è costituito dall'originale idrografia, mentre l'emissario per lo più manca, poiché l'acqua raccolta viene convogliata a valle in condotte forzate.



Laghi di origine carsica sull'Alpe di Fanes (Dolomiti Ampezzane, Veneto)

La presenza di questo tipo di invasi, di cui tuttavia si riconosce l'utilità ed il grande ruolo che hanno nel produrre energia pulita e nell'attenuare le situazioni critiche di siccità in pianura, difficilmente si integra con il paesaggio. In alcuni casi si può trovare un certo rapporto tra bacini artificiali e laghi alpini: ci si riferisce a quelle situazioni in cui l'invaso artificiale ha sfruttato un preesistente lago d'alta quota. Ad esempio, nella Valle dell'Avio nel Gruppo dell'Adamello, in una serie di laghi a gradinata per sovraescavazione è stata ricavata una successione di bacini artificiali. La capacità di invaso è stata ampliata mediante l'innalzamento delle soglie con dighe e l'approfondimento delle conche mediante l'asportazione dei detriti sedimentati. Un analogo esempio è visibile confrontando le due carte topografiche nelle quali è rappresentato il Lago Baitone (nel Gruppo dell'Adamello) prima e dopo la costruzione della diga. Da qualche anno in molte zone montane in prossimità dei comprensori sciistici, si sono improvvisamente formati nel giro di pochi mesi numerosi piccoli laghi, che non sono sbarrati da morene o da frane e non sono collocati tra rocce montonate: non hanno alcuna origine naturale, ma non sono neppure sorretti da dighe. Sono laghi privi di immissario; l'emissario è costituito da tubi mascherati sotto la cotica erbosa. Non si estinguono mai, non verranno colmati dai detriti ed il loro fondo è spesso in plastica. Luccicano d'estate tra verdi prati, d'inverno non si vedono ma ad essi è affidato il buon esito della stagione sciistica: sono i piccoli laghi artificiali che alimentano gli impianti di neve programmata artificiale. Se il clima continuerà secondo l'attuale tendenza, la loro presenza sarà sempre più insistente, ma dovremmo in un futuro considerarli laghi d'alta quota?



Il Lago Pirola (Valle del Ventina, Valtellina, Lombardia), rialzato artificialmente da uno sbarramento lungo la sponda meridionale, ha il fianco sinistro impostato lungo una evidente frattura

■ L'evoluzione dei laghi d'alta quota

I laghi in generale e quelli d'alta quota in particolare rappresentano delle entità geografiche mutevoli nel tempo, con tempi di trasformazione per alcuni di essi estremamente rapidi. Affascina pensare come un ghiacciaio abbia impiegato centinaia ed anche migliaia di anni per preparare le condizioni idonee per la formazione di un bacino lacustre e come, di contro, un repentino fenomeno franoso possa bloccare in pochi minuti un corso d'acqua che scorreva libero da sempre. Questi sono alcuni dei meccanismi, a volte imprevedibili, che regolano la nascita, la vita e l'estinzione di un lago d'alta quota.

Imprevedibili in ogni momento della loro evoluzione e del tutto transitori sono quei laghi che si trovano a diretto contatto con il ghiacciaio, siano essi epiglaciali, marginali o di sbarramento glaciale. L'estrema dinamicità del ghiacciaio avanzando, retrocedendo e variando di volume può ampliare o ridurre, fino alla completa sparizione, le dimensioni della conca lacustre e l'impermeabilizzazione della stessa può essere compromessa in pochi attimi dalla formazione di un crepaccio o di una frattura.

Anche alcuni laghi che devono la loro alimentazione alla sola fusione dei ghiacciai possono rapidamente scomparire appena il fronte glaciale si distanzia o se lo scaricatore cambia percorso. Frequenti sono gli esempi di questo tipo, avvenuti a partire dal 1850 (inizio dell'ultimo grande ritiro delle fronti glaciali) ed oggi individuabili solo sulla cartografia storica.

Le cause più ricorrenti che giocano in modo sistematico un ruolo determinante nell'evoluzione di un bacino sono comunque legate al continuo apporto di sedimenti, che riduce la profondità della conca e/o all'incisione o cedimento della soglia di sbarramento.

Per quanto riguarda l'interrimento, va ricordato che la presenza di un lago lungo lo sviluppo di un'asta torrentizia rappresenta, dal punto di vista energetico, il momento in cui il corso d'acqua perde la capacità di erodere e trasportare detriti, ed abbandona tutto il carico che ha.

I sedimenti inorganici che decantano nei laghi sono normalmente composti da argille, limi, sabbie e talvolta ghiaie e vengono accumulati non solo dagli immissari, ma anche dalle acque di ruscellamento che dilavano i versanti a ridosso dello specchio lacustre. In generale, i materiali più grossolani si depositano nelle vicinanze dell'immissario o delle sponde e quelli fini nelle parti centrali più profonde. In corrispondenza degli immissari si possono notare



Invaso del lago artificiale di Vagli (Appennino Toscano) in un momento di manutenzione: al centro i resti dell'abitato che è stato sommerso

piccoli delta che conquistano piano piano porzioni sempre più ampie del bacino, portando nel tempo al colmamento totale della conca. Alla sedimentazione di materiali inorganici, si affianca quella di materiali organici, via via maggiormente presente in funzione del grado di colonizzazione delle sponde e del fondale, da parte della vegetazione. Questi sono particolarmente evidenti nelle ultime fasi di vita del lago, quando lo specchio d'acqua evolve a palude, stagno, acquitrino. L'interrimento di alcuni bacini di alta quota, ben evidenziato da precisi momenti evolutivi della vegetazione, può essere osservato anche dal confronto di carte topografiche di diversa levata dalle quali si può evincere la riduzione di dimensioni dello specchio lacustre o la presenza di un territorio pianeggiante in continuazione del lago, verso monte. La sparizione totale di un bacino lacustre "vissuto" abbastanza a lungo nel tempo, lascia traccia nel paesaggio in modo inconfondibile; quello che una volta era il suo fondo, oggi appare come una superficie perfettamente orizzontale torbosa o colonizzata dalla prateria.

L'estinzione di un bacino avviene in tempi estremamente diversificati, in relazione alle dimensioni del lago, ma soprattutto in relazione ai tassi di sedimentazione che sono direttamente connessi con le condizioni geologiche (tipo di roccia e sua degradabilità) e geomorfologiche del bacino di appartenenza e con il grado di colonizzazione della vegetazione. Quest'ultima, a parità di condizioni, trattiene i detriti ed inibisce il ruscellamento, riducendo drasticamente la quantità di sedimento che giunge al lago.



Laghetti di Lusia (Val di Fassa, Trentino Alto Adige), impostati lungo una frattura nei porfidi

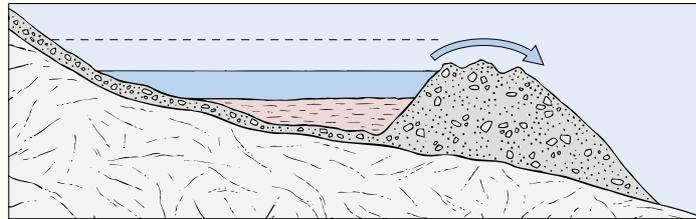
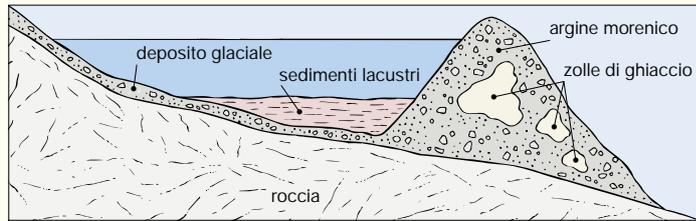
In questi ultimi decenni la quantità di detriti che converge nei laghi d'alta quota ubicati nei territori che nella Piccola Età Glaciale erano ancora occupati da ghiaccio, è sensibilmente aumentata; ciò è dovuto al fatto che il forte ritiro delle fronti glaciali, avvenuto a partire dal 1850 circa, ha lasciato libere ampie superfici attraversate dagli scaricatori, ricoperte da depositi glaciali sparsi facilmente asportabili. Un'altra grande "sorgente" di detrito incoerente è rappresentata dagli affilati e continui argini morenici che confinavano le lingue glaciali alla metà del XIX secolo, attualmente "distaccati" dalle lingue glaciali ed aggrediti dal dilavamento diffuso e concentrato specie sui fianchi interni oggi non più a contatto con il ghiaccio e non ancora protetti dalla vegetazione.

La conca lacustre può cessare di esistere anche per cedimento, incisione o "sparizione" dello sbarramento. Nel primo caso l'estinzione del lago è pressoché immediata e riguarda prevalentemente i bacini sbarrati da un corpo di frana e meno frequentemente quelli sorretti da argini morenici. Il più delle volte questo fenomeno si manifesta nelle fasi iniziali della formazione del lago, quando la pressione della massa d'acqua che si raccoglie sfonda lo sbarramento non ancora consolidato.

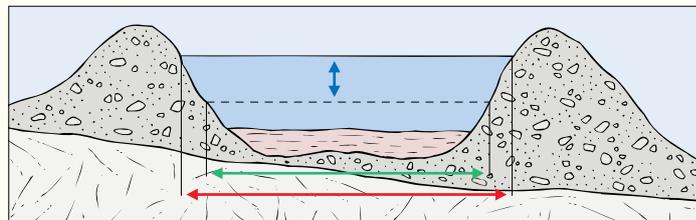
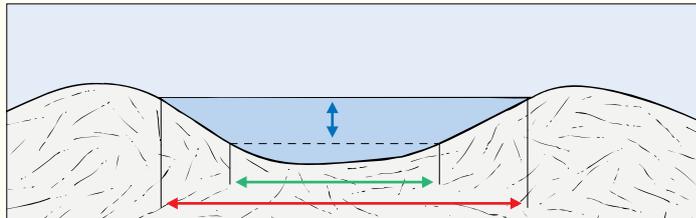
In altri casi il fenomeno si può manifestare per un aumento anomalo del livello del lago che può avvenire per rotte glaciali, o per variazioni nella gerarchizzazione dell'idrografia. In alcuni bacini, sorretti da morena, si può assistere al cedimento dell'argine se il vallo morenico contiene al suo interno blocchi di



Un laghetto tra rocce montonate in alta Val d'Ultimo (Trentino Alto Adige) in via di estinzione



Schema dello svuotamento di un lago di sbarramento morenico per cedimento di un argine a nucleo di ghiaccio. Durante la costruzione di un vallo morenico può capitare che zolle di ghiaccio vengano inglobate nel detrito e vadano a far parte della morena. La loro successiva fusione, lascia spazio libero nell'argine che crollerà e perderà la sua originale forma



Schema delle variazioni di dimensioni di un laghetto a parità di abbassamento del livello lacustre. Le sponde diversamente acclivi scopriranno porzioni di versante più o meno ampie

↕ abbassamento del lago ←→ dimensione originale ↔ nuova dimensione

ghiaccio (*ice cored moraine*). Il loro scioglimento, provoca all'interno del deposito la formazione di cavità entro le quali crolla il detrito che costituisce l'argine, diminuendo così la stabilità della "diga naturale".

L'incisione della soglia da parte dell'emissario porta invece a svuotamenti più lenti. Il solco che l'emissario incide nello sbarramento, può approfondirsi sempre più, portando il livello di base dello specchio lacustre a quote sempre più basse fino a raggiungere quella del fondo del lago, momento in cui il bacino cessa di esistere.

Un particolare tipo di evoluzione riguarda alcuni laghi di circo, specie quelli collocati in "recinti" angusti. L'estinzione di un lago di questo tipo è per lo più dovuta all'accrescimento delle falde e dei coni detritici che lo marginano, che sottraggono via via sempre maggior spazio al bacino.

Un altro parametro che va considerato nell'evoluzione dei laghi alpini è il livello dell'acqua, generalmente molto variabile in quanto dipendente dall'ablazione dei ghiacciai e dalla quantità di precipitazioni sia solide che liquide. Durante il passaggio da estate ad inverno si registra normalmente una diminuzione dell'apporto idrico fino a diventare in alcuni casi quasi nullo. In tale situazione alcuni bacini vanno incontro a periodi di secca. Nella tarda primavera ed in estate invece si verifica un aumento dell'apporto idrico soprattutto per la maggiore ablazione. Questo fatto porta anche ad una variazione delle dimensioni del lago che risulta più o meno evidente in funzione dell'acclività delle sue sponde.

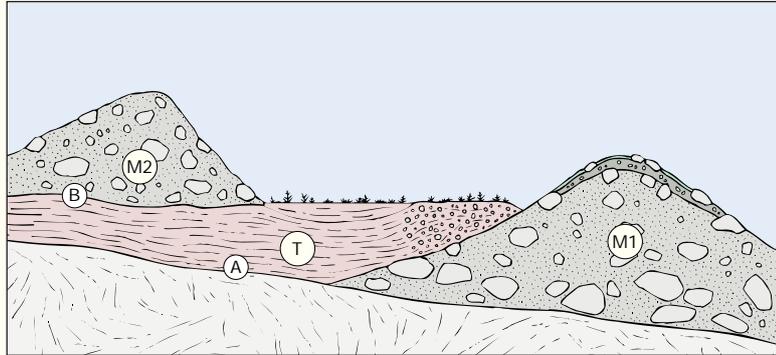


Il fianco interno di una delle numerose morene presenti a monte di molti bacini, principale fornitrice dei detriti fini che vengono convogliati nei laghi

La variazione di quantità d'acqua che durante un anno arriva al bacino lacustre fa sì che nei laghi convergano durante i periodi estivi, in cui si osserva la maggior portata dei torrenti, sedimenti più grossolani e, nei periodi invernali, detriti più fini. Questa alternanza di apporti genera una regolare stratificazione spesso sottolineata da diversi cromatismi, che riproduce una ciclicità stagionale. Dallo studio di questi sedimenti è possibile ricavare informazioni cronologiche sulla storia del lago e sull'ambiente circostante mediante l'analisi dei resti organici contenuti. Molte ricostruzioni del clima e della storia glaciale alpina derivano dallo studio di questi sedimenti chiamati "varve".

Dal punto di vista naturalistico, l'estinzione di un lago d'alta quota rappresenta la perdita di un complesso ecosistema, ma le tracce della sua esistenza contribuiscono in molti casi alla ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica di quel determinato territorio ed

alla datazione degli eventi che ne hanno modificato l'aspetto. Di grande utilità per la conoscenza della storia glaciale e per la datazione degli eventi franosi sono ad esempio i reperti organici (suoli sepolti, torbe, frammenti di tronco), rinvenuti nei sedimenti lacustri. Le date che da essi si possono ricavare mediante il ^{14}C forniscono dei "paletti" cronologici, intorno ai quali si possono collocare ad esempio le fasi di avanzata e ritiro delle fronti glaciali. Una data ricavata da depositi organici alla base di una serie di sedimenti lacustri appartenenti ad un lago sbarrato da un argine morenico, dirà ad esempio che il vallo che sosteneva il laghetto è più vecchio dell'età dei depositi organici perché necessariamente preesistente. Analogamente date ricavate da resti organici presenti sul fondo di conche lacustri ubicate tra rocce montonate suggeriranno una data minima per la deglaciazione, in quanto i sedimenti in oggetto si saranno depositi dopo il ritiro del ghiacciaio.

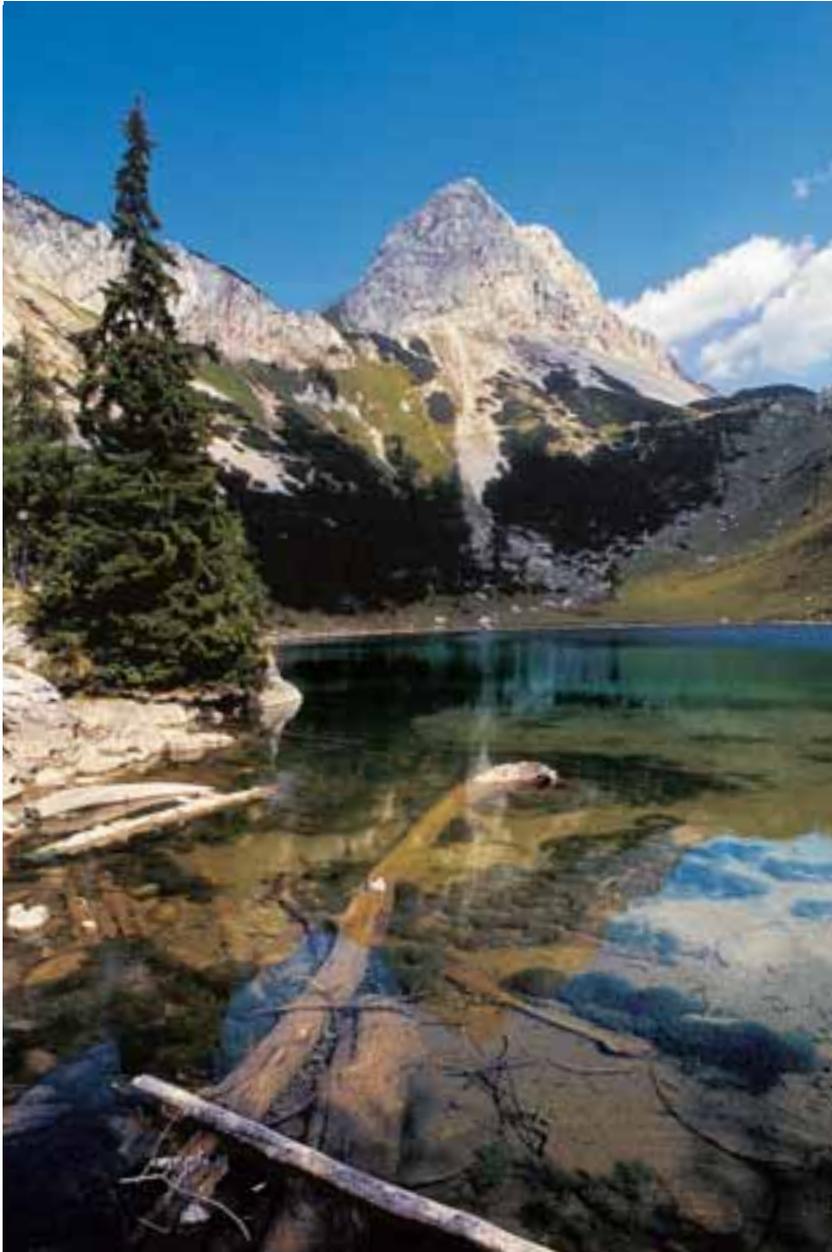


Zona proglaciale del Ghiacciaio della Lobbia nell'Adamello (Trentino Alto Adige). Una morena terminale (M1) sostiene un deposito torboso (T, ex lago) la base del quale (A) è stata datata, mediante resti organici, 5310 ± 180 anni ^{14}C (ovvero $6299/5919$ da oggi); tale valore rappresenta una data minima per la deposizione della morena antistante. Lo stesso deposito è ricoperto da un'altra morena (M2) più interna della precedente. La torba del punto B, al tetto del deposito T, ha fornito un'età di 1190 ± 75 anni (ovvero $1230/1003$ da oggi): la data indica una età minima per l'avanzata glaciale testimoniata da quest'ultima morena e suggerisce un campo temporale di esistenza del laghetto tra le due date.

■ Quanti sono i laghi d'alta quota?

Ad oggi non è noto quanti siano in Italia i laghi d'alta quota e quanta acqua sia raccolta in essi, perché non è stato ancora effettuato un inventario a livello nazionale. Pur potendo utilizzare i moderni mezzi di telerilevamento per fare un sistematico censimento, resta sempre il problema di dove si debba porre il limite tra lago alpino ed altre forme di ristagno d'acqua. Ne consegue che, anche se un domani venisse trovato un accordo tra gli studiosi di limnologia sui criteri di distinzione, sarebbe necessario un lungo lavoro di campagna per rilevare i parametri necessari alla caratterizzazione del bacino lacustre. Sembra, dalla somma di risultati parziali, che il numero totale dei laghi d'alta quota possa essere di circa 4000 unità. Esistono vari catasti a livello regionale, di bacino idrografico o di gruppo montuoso (Trentino, Lombardia, Valle d'Aosta, Piemonte; Valsesia, Valli della Stura di Lanzo, Valtellina e Val Chiavenna, Val Chiusella e Valle Orco, Valle di Susa, Valli Ossolane); alcuni sono stati redatti con finalità esclusivamente turistiche e divulgative, altri risultano basati su approfondite indagini di terreno e compilati con un approccio strettamente scientifico.

La presenza di laghi d'alta quota è decisamente maggiore nell'Arco Alpino rispetto a quello Appenninico. Ciò è dovuto al fatto che nelle Alpi esistono morfologie più conservative nei riguardi delle conche che accolgono i vari bacini e perché il paesaggio glaciale e periglaciale, che ospita in prevalenza questo tipo di specchi d'acqua, è maggiormente rappresentato nella catena Alpina. Da una indagine di massima (mancano dati su gran parte dell'Arco Alpino ed Appenninico), il maggior numero di essi è legato al glacialismo recente e storico ed in minor misura agli eventi glaciali precedenti. Il glacialismo antico ha lasciato manifestazioni lacustri di fondovalle, da non considerare quindi in questa categoria di laghi. Dominanti sono i laghi di circo e quelli sorretti da argini morenici. Nell'ambito di questa ultima categoria, va sottolineato che i depositi glaciali della Piccola Età Glaciale e successivi, sostengono per lo più bacini collocati al di sopra del limite superiore della vegetazione arborea ed ancora in sensibile evoluzione. Le morene delle ultime fasi stadiali tardiglaciali marginano laghi alpini di discrete dimensioni, apparentemente abbastanza stabili, completamente immersi in piani vegetativi ben sviluppati ed ubicati quasi sistematicamente al di sotto del limite superiore della vegetazione arborea. I laghi collocati nelle conche di sovraescavazione, non sono numerosi e trovano per lo più collocazione ad alta quota al limite con la prateria alpina. Anche se in numero non elevato, i laghi sbarrati da frane o da conoidi sono distribuiti su tutti i piani altitudinali e sembrano più frequenti nei massicci metamorfici e subordinatamente in alcuni rilievi carbonatici per la minor compattezza della roccia (elevata franosità) e la maggior presenza di detriti di degradazione che edificano conoidi detritici ed alluvionali.



Laghetto di Bordaglia (Alpi Carniche, Friuli Venezia Giulia)

■ Caratteristiche fisico-chimiche delle acque

Introduzione. Le notizie sull'idrochimica dei laghi d'alta quota in Italia sono frammentarie e di difficile reperibilità, soprattutto per il periodo antecedente il 1970. I primi studi idrochimici si riferiscono ai laghi alpini e risalgono agli inizi del XX secolo, quando i mezzi pionieristici allora a disposizione permettevano solo misure sul campo; per questi decenni abbiamo a disposizione, in genere, solo dati sulla trasparenza delle acque e qualche profilo termico, raramente dati idrochimici. Gli studi hanno invece subito un certo impulso dopo gli anni settanta del secolo scorso, anche in relazione al problema dell'acidificazione; i laghi d'alta quota con conducibilità molto bassa (come ad esempio quelli giacenti in rocce cristalline e metamorfiche) sono infatti i più influenzabili dalle piogge acide. Ulteriori problematiche ambientali, di recente affrontate con lo studio dell'idrochimica dei laghi d'alta quota, riguardano l'inquinamento atmosferico diffuso e quello idrico (in particolare i composti dell'azoto, pesticidi e metalli pesanti). Più scarsi sono invece gli studi di limnologia classica, volti a caratterizzare i laghi da un punto di vista dei parametri chimico-fisici per spiegare la componente biologica.

Temperatura e stratificazione termica. La durata della copertura di ghiaccio e neve nei laghetti montani dipende da vari fattori, in primo luogo la quota, la latitudine, l'esposizione, il chimismo delle acque, nonché dalle peculiari variazioni climatiche pluriennali. In base alla definizione di "alta quota" adottata in questo volume, in genere la copertura ghiacciata perdura da novembre a maggio/giugno, con una durata di sei-sette mesi. I laghi sottoposti a questo regime termico possono essere classificati come temperati dimittici: ad un periodo estivo di stratificazione termica diretta (cioè con la temperatura che diminuisce più o meno sensibilmente con la profondità) segue un periodo invernale di stratificazione inversa, con acque più fredde in superficie; in primavera ed autunno si osservano periodi più o meno lunghi di omeotermia. Anche se ovviamente i fenomeni qui descritti dipendono oltre che dalle condizioni climatiche e dalla localizzazione dei bacini anche dalla morfometria ed in particolare dalla loro profondità, usualmente il periodo di circolazione autunnale (rimescolamento delle acque) è sensibilmente più lungo di quello

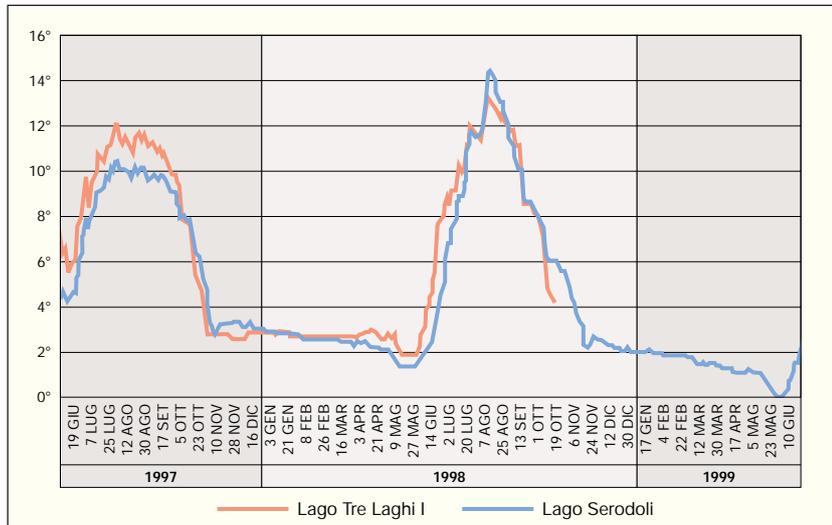


Laghi inferiori di Roburent (Piemonte)

primaverile, poiché gli strati d'acqua superficiali iniziano a riscaldarsi velocemente con l'avanzare della bella stagione. Con l'aumentare della profondità anche le escursioni termiche divengono più contenute.

Recenti studi di dettaglio, condotti da parte del Museo Tridentino di Scienze Naturali mediante misuratori in continuo su due laghi glaciali d'alta quota nel massiccio alpino dell'Adamello-Presanella (Lago Tre Laghi I a 2256 m s.l.m. e Lago Serodoli a 2371 m s.l.m.), hanno consentito di mettere in rilievo le piccole differenze nel regime termico dovute alla diversità morfometrica dei bacini e ai diversi andamenti climatici tra i due anni di indagine. La temperatura media annua è risultata di 5.4°C (Serodoli) e 6.4°C (Tre Laghi I), mentre l'escursione termica annua ha coperto un arco di 12.3° (da 0° a 12.3°) nel Lago Serodoli e di 14.1° (da 0.4°-14.5°) nel Lago Tre Laghi I. Uno sfasamento temporale nella formazione e fusione del ghiaccio, con un ritardo di circa una decina di giorni nel Lago Serodoli, ha inoltre evidenziato la differente inerzia termica dei due bacini, dovuta alle loro diverse dimensioni.

Colore e trasparenza. L'acqua chimicamente e fisicamente pura è incolore per spessori inferiori al metro; per spessori superiori essa assume un colore azzurro. Nei laghi, specie in quelli di piccole dimensioni, questo colore è modificato da fattori variabili o apparenti come il cielo, l'ambiente circostante, il colore dei sedimenti del fondo e soprattutto dalle sostanze disciolte e dagli organismi in sospensione.



Valori della temperatura media giornaliera, misurati sulla colonna d'acqua in due laghi del Trentino

La presenza di sostanze umiche porta i colori su tinte che vanno dal verde azzurro al verde giallastro, fino a toni bruni. Le particelle minerali in sospensione conferiscono alle acque invece tonalità opaline, verdi o giallognole; gli organismi più piccoli inducono una colorazione estremamente varia, permanente o stagionale. Per avere un riferimento universale nella valutazione del colore delle acque è stata messa a punto da Forel una scala di 11 colori derivante da una serie di soluzioni colorate con l'acqua e codificate con numeri progressivi. Questa scala fu successivamente ampliata da Ule (dal XII al XXI grado) che la arricchì di colorazioni tendenti al bruno. La gradazione fu infine completata dal Garbini che inserì altre due colorazioni spiccatamente azzurre che anticipano il primo grado della scala di Forel.

La trasparenza delle acque di un lago è estremamente variabile in funzione delle sostanze solide e degli organismi in sospensione. Viene incrementata dalla bassa temperatura ed è variabile non solo da lago a lago, ma anche in funzione della stagione e all'interno di uno stesso bacino. Anche in questo caso, per evitare di attribuire ad un lago valori di trasparenza soggettivi, viene utilizzato un semplice strumento. Si tratta di un disco bianco di 30 cm di diametro (disco di Secchi) fissato ad una cordicella metrata. Il disco viene immerso in acqua e si misura la profondità alla quale diviene invisibile dalla superficie. Fu usato per la prima volta nel 1865 dall'abate A. Secchi e da lui prese il nome. La trasparenza di un lago è quindi definita dalla profondità di scomparsa del disco di Secchi.



Laghetto in Valle Aurina (Trentino Alto Adige): l'acqua è più scura nel punto più profondo

Idrochimica. L'acqua è un buon solvente; per questo nei laghi oltre alle particelle in sospensione si trovano anche moltissime sostanze inorganiche ed organiche che si disciolgono nelle acque.

Il chimismo di base dei laghi è quindi fortemente influenzato dalla composizione litologica e dalle dimensioni del bacino imbrifero, dalla presenza o meno di suolo vegetato, dall'attività antropica, dall'apporto di sostanze provenienti dall'atmosfera e dai processi biologici che avvengono nel lago stesso. I gas ed i minerali disciolti influenzano la vita degli organismi acquatici che possono a loro volta modificare la quantità e il tipo di sostanze disciolte nelle acque.

La salinità corrisponde alla quantità di sali in soluzione che si dissociano, in un litro d'acqua, in ioni positivi (calcio, magnesio, sodio, potassio, ammonio, idrogeno) e negativi (bicarbonato, solfato, cloruro, nitrato). La salinità delle acque di un lago è generalmente inferiore a 0,5 g/l in forte contrasto quindi con quella del mare (35 g/l). Nelle analisi di routine relative alle acque dei singoli laghi vengono determinati tutti i parametri chimico-fisici sopra menzionati oltre alla conducibilità ed al pH.

I gas dell'aria si sciolgono in acqua in quantità che dipendono dal tipo di gas, dalla pressione e dalla temperatura dell'acqua. Ne consegue che nei laghi posti ad alta quota i fattori pressione e temperatura giocano un ruolo importante e diversificano notevolmente le caratteristiche delle acque dei bacini d'alta quota dagli altri.



Lech del Pisciadù (Trentino Alto Adige): esempio di bacino oligotrofico d'alta quota

La concentrazione di gas nelle acque può essere modificata anche dall'attività biologica: la fotosintesi, ad esempio, produce ossigeno (O_2) e consuma anidride carbonica (CO_2), la decomposizione batterica della sostanza organica può consumare O_2 e produrre acido solfidrico (H_2S) e la respirazione delle forme di vita produce CO_2 . Oltre a queste cause il livello di ossigeno disciolto nelle acque dipende anche dai fenomeni che regolano la diffusione dell'ossigeno tra aria ed acqua.

Nei laghi d'alta quota il contenuto di ossigeno disciolto è generalmente uguale dalla superficie al fondo sia in condizioni di rimescolamento completo delle acque (omeotermia) che di stratificazione termica (nei laghi dimittici non molto profondi). Il massimo contenuto di ossigeno disciolto si può trovare eventualmente nei mesi estivi ad alcuni metri dalla superficie quando l'attività di fotosintesi è elevata a causa dell'accumulo di fitoplancton nel metalimnio, zona compresa tra gli strati superficiali (epilimnio) e quelli profondi (ipolimnio). I processi di fotosintesi e di respirazione hanno invece sull'anidride carbonica un effetto inverso a quello che hanno sull'ossigeno disciolto. Per questo motivo le concentrazioni di CO_2 e di O_2 hanno nei laghi stratificati una distribuzione verticale inversa.

In misura assai più modesta nelle acque dei laghi d'alta quota si possono trovare anche azoto e fosforo. Nei casi in cui la presenza di questi elementi è elevata, in seguito all'attività umana, l'eccesso di fosfati e nitrati fa diventare troppo produttivi i laghi, con una sovrapproduzione di sostanza organica, fenomeno noto con il termine di eutrofizzazione.

Numerosi studi limnologici propongono cinque livelli trofici per classificare i bacini lacustri in base alla quantità di sali nutritivi: ultraoligotrofia, oligotrofia, mesotrofia, eutrofia ed ipereutrofia. I laghetti d'alta quota, se non sono soggetti a particolari pressioni antropiche, rientrano generalmente nelle prime due categorie. I criteri di assegnazione di un ambiente ad una o all'altra delle citate categorie si basano o sulla concentrazione di fosforo e di azoto oppure su altri parametri i cui valori dipendono dai sali nutritivi (es. clorofilla, ossigeno e trasparenza).

Classi di trofia	FOSFORO (mg/m^3)	CLOROFILLA (mg/m^3)	TRASPARENZA (m)
Ultraoligotrofia	< 4	< 1 (< 2,5)	> 12 (> 6)
Oligotrofia	< 10	< 2,5 (< 8)	> 6 (> 3)
Mesotrofia	10 - 35	2,5 - 8 (8 - 25)	6 - 3 (3 - 1,5)
Eutrofia	35 - 100	8 - 25 (25 - 75)	3 - 1,25 (1,5 - 0,7)
Ipereutrofia	> 100	> 25 (> 75)	< 1,5 (< 0,7)

Classificazione dei laghi in classi di trofia proposta dall'OECD (Organization for Economic Cooperation and Development): fuori parentesi sono indicati i valori medi annui, in parentesi quelli massimi per la clorofilla e minimi per la trasparenza

Flora

MARCO CANTONATI

■ Alghe delle acque libere

Il tipico lago di alta montagna presenta acque cristalline dotate di grande trasparenza. Talora tuttavia l'escursionista può imbattersi in ambienti in cui l'acqua assume toni di colore, per lo più verdastri, a causa della proliferazione di alghe microscopiche. Le acque libere dei laghetti di alta montagna rappresentano per le alghe un ambiente particolarmente difficile da colonizzare a causa di diversi fattori che verranno illustrati brevemente di seguito.

Questi laghi sono coperti da uno spesso strato di ghiaccio per circa sette mesi l'anno. In particolare quando al ghiaccio si sovrappone la neve, la penetrazione della luce nell'acqua si riduce moltissimo. Le acque sono fredde e soggette unicamente in piena estate a un moderato riscaldamento nella parte superficiale. I laghi di alta montagna spesso si collocano in aree in cui il substrato predominante è costituito da pareti e detriti rocciosi, i suoli sono assai poco sviluppati e le attività umane ridottissime o assenti. Di conseguenza sono generalmente poveri di sali nutritivi. Nel caso in cui il lago si collochi su roccia cristallina quasi insolubile, le acque sono povere di sali minerali disciolti e risultano pertanto estremamente esposte all'eventuale azione acidificante di contaminanti di origine atmosferica. In quota aumenta anche la quantità di radiazione ultravioletta che raggiunge il suolo e l'elevata trasparenza delle acque ne favorisce la penetrazione anche nei laghi. Alle alte quote ve ne sono alcuni poco profondi (fino a 10 metri di profondità massima) in cui la radiazione ultravioletta riesce a penetrare fino al fondo: ne consegue che non vi è alcuna parte del lago in cui gli organismi che vivono nelle acque libere possano ripararsi dagli effetti deleteri degli UV. Le condizioni di vita nei laghi di alta montagna sono quindi generalmente difficili e le alghe che colonizzano le acque libere adottano una serie di strategie adattative per ovviare a questi problemi. Il plancton vegetale, o fitoplancton,

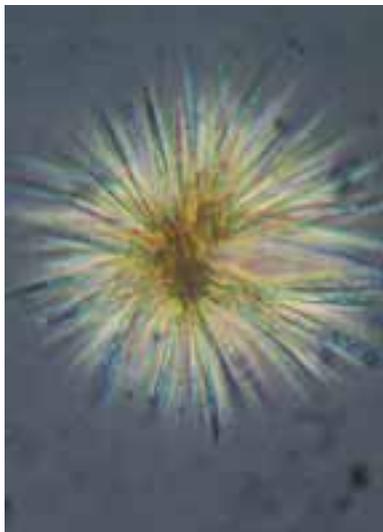


Vegetazione attorno al Lago della Maddalena (Piemonte)



dei laghi d'alta quota è così tipicamente dominato da alghe provviste di organelli locomotori, i cosiddetti flagelli. Queste alghe flagellate appartengono alle crisofite o alghe dorate, ai dinoflagellati, alle criptofite e alle alghe verdi o clorofite. La possibilità di muoversi autonomamente e di non essere completamente in balia della sedimentazione e delle correnti (come accade per esempio alle diatomee planctoniche) consente alle alghe flagellate di raggiungere comparti del lago in cui la situazione è più favorevole per qualche aspetto specifico. Di notte, per esempio, quando non vi è luce della quale approfittare nelle acque superficiali, possono raggiungere le acque profonde del lago, dove avviene la degradazione della sostanza organica e i nutrienti sono più abbondanti. Inoltre, in inverno, possono accumularsi sotto la superficie coperta da neve e ghiaccio per approfittare della poca luce che riesce a filtrare al di sotto.

È ormai noto che molte specie di alghe del fitoplancton dei laghi di alta montagna, molte di più di quanto non si pensasse un tempo, adottano una soluzione originale per rimediare alla diffusa carenza di sali nutritivi nei laghi d'alta quota: la mixotrofia. Si tratta di un'elaborata modalità di nutrizione mista che consente agli organismi in grado di effettuarla di comportarsi, a seconda delle condizioni ambientali, in maniera più simile a una pianta o a un animale. Se vi sono nutrienti in quantità sufficienti, queste alghe si comportano come ci aspetteremmo, cioè come piante: utilizzano i sali nutritivi disciolti nell'acqua e ottengono l'energia dalla luce del sole (o, più precisamente, dalle sue



L'alga verde *Ankistrodesmus*



L'alga dorata *Dinobryon*

componenti che riescono a penetrare alle varie profondità) con la fotosintesi. Se invece vi è carenza di nutrienti queste alghe possono trasformarsi in predatori in grado di inglobare non solo batteri, ma anche altre alghe. Questa modalità di alimentazione mista è adottata in particolare, ma non solo, da microalghe appartenenti ai gruppi delle criptofite e dei dinoflagellati.

Per quanto riguarda la radiazione ultravioletta, nel caso di laghi profondi e di alghe dotate di movimento autonomo, vi è la possibilità di rifugiarsi in acque profonde del lago dove gli UV non riescono a penetrare. Nel caso, invece, di acque trasparenti e poco profonde, una soluzione è quella di dotarsi di sostanze in grado di funzionare come naturali filtri anti UV, come gli aminoacidi affini alle micosporine (MAAs) e alcuni carotenoidi.

Oltre alle alghe flagellate di cui si è detto, nel fitoplancton dei laghi di alta montagna possono essere presenti rappresentanti di altri gruppi: le diatomee e i cianobatteri. Ambedue preferiscono acque non acidule e le diatomee planctoniche (quelle a simmetria radiale e di forma rotonda) scompaiono proprio del tutto in acque acide. Nel fitoplancton dei laghi di alta montagna, tuttavia, si rinvencono frequentemente anche diatomee bentoniche (cioè adattate a vivere sul fondo). Nel caso di alcune specie si ritiene che esse abbiano vere e proprie fasi di vita in acqua libera (= planctonica). Tra le diatomee bentoniche ci sono specie perfettamente adattate alla vita sia in acque minimamente mineralizzate esposte a repentini e stagionali innalzamenti del livello di acidità, che in acque permanentemente acide, per cause sia naturali che antropiche. I cianobatteri includono invece alcune specie particolarmente ben adattate ad ambienti che hanno raggiunto un livello trofico più alto in conseguenza di una certa contaminazione organica e la loro abbondanza tende quindi ad aumentare nei laghi di montagna influenzati da pascolo, pressione turistica eccessiva ecc.

Nelle acque libere dei laghi di alta montagna si rinvencono quindi comunità algali stabili e ben adattate alle dure condizioni di vita e alle sfide che questi ambienti pongono nelle varie stagioni. Il fatto che queste condizioni ambientali si ripetano nei laghi di alta montagna di tutto il mondo e il fatto che queste alghe abbiano buone capacità di diffusione grazie allo sviluppo di forme di resistenza fanno in modo che il fitoplancton dei laghi di alta montagna sia spesso dominato da specie cosmopolite ad ampia diffusione.



Cianobatteri (*Tolypothrix*) con guaina gialla

Il Lago di Tovel nelle Dolomiti di Brenta (Trentino), già più volte citato per altri aspetti in questo capitolo, è famoso soprattutto per l'intenso arrossamento delle acque che caratterizzava la baia sud-occidentale (nota appunto come Baia Rossa) nelle estati assolate e calde. Questo caso specifico permetterà di ritrovare molti degli argomenti brevemente discussi nel presente sottocapitolo. Il fitoplancton del Lago di Tovel è dominato da alghe flagellate (in particolare dinoflagellati e crisofite), caratteristica che abbiamo visto essere tipica per i laghi di alta quota. Tovel si colloca in realtà a soli 1178 m s.l.m. ed è circondato da boschi di abete bianco e rosso: non è quindi a rigore un lago d'alta quota. Tuttavia esso è alimentato da un grande acquifero permeabile tramite numerose sorgenti per lo più sublacustri che si trovano nella Baia Rossa. Questo continuo apporto di acqua fredda e il cli-



L'arrossamento del Lago di Tovel nel 1961

ma locale fresco e molto umido fanno in modo che le temperature superficiali, anche in estate, siano del tutto paragonabili a quelle di laghi collocati ben al di sopra del limite degli alberi. Il fitoplancton di Tovel, oltre ai dinoflagellati e alle crisofite, comprende anche un'importante componente a diatomee (sia centriche che pennate, cioè con simmetria bilaterale e forma a bastoncino o a navicella), criptofite e moderati quantitativi di alghe verdi e cianobatteri (in particolare del genere *Synechococcus*, tipico di acque pulite). L'importante componente a diatomee planctoniche e la presenza di cianobatteri derivano anche dalla natura debolmente alcalina (e comunque mai acida) dell'acqua di Tovel, da imputarsi alla composizione delle rocce del bacino (calcari e dolomie).

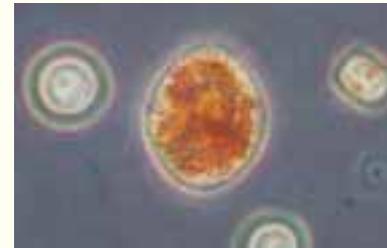
Il fitoplancton del Lago di Tovel non sarebbe tuttavia mai diventato così noto al di fuori degli ambienti scientifici, se non fosse per il peculiare ciclo stagionale esibito fino al 1964 da una delle numerose specie di dinoflagellati che lo popolano. Questa specie, nelle estati caratterizzate da lunghi periodi di bel tempo, proliferava raggiungendo nella Baia Rossa densità notevoli (da più di mezzo milione a decine di milioni di cellule per litro). Le cellule sono dotate di un'abbondante presenza nel citoplasma di carotenoidi rossi che conferivano alle acque interessate dalla proliferazione delle microalghe un vivace colore rosso. Un importante progetto di ricerca (SALTO) finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento ha permesso di fare chiarezza su molti aspetti del fenomeno, dal chiarimento della posizione tassonomica dell'alga alle cause che consentivano l'imponente fioritura e, di conseguenza, sulle possibili ragioni del venir meno della fioritura a metà degli anni Sessanta. Su questi ultimi aspetti restano ancora importanti verifiche ed esperimenti da fare: pare comunque ragionevole che la

fioritura rossa fosse sostenuta da un importante ingresso di nutrienti nel lago generato da un differente uso del territorio, che si caratterizzava in particolare per pratiche di alpeggio diverse dalle attuali per età dei bovini, modalità di pulizia delle stalle, ecc.

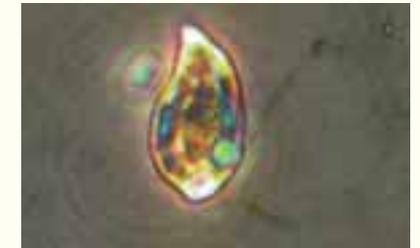
Dalla fine degli anni Trenta, anni in cui il Edgardo Baldi dedicò importanti ricerche al Lago di Tovel e all'arrossamento, si riteneva che il dinoflagellato responsabile - ai tempi denominato *Glenodinium sanguineum* da Marchesoni - potesse essere presente in due stadi fisiologici, uno verde e uno rosso, e che il passaggio dal primo al secondo avvenisse per accumulo di carotenoidi nel citoplasma come reazione a specifici stimoli ambientali (elevato irraggiamento, carenza di azoto; come in effetti avviene nel caso di alghe responsabili di occasionali arrossamenti in corpi d'acqua più piccoli come l'alga verde *Haematococcus plu-*

vialis; si veda il box sugli arrossamenti nel capitolo sulle alghe del Quaderno Habitat "Pozze, stagni e paludi").

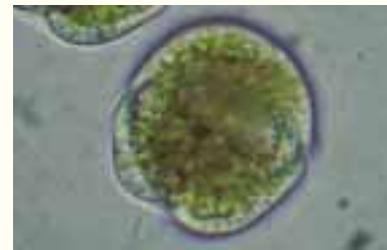
L'isolamento e il trasferimento in coltura ha invece mostrato che una sola delle tre specie che si "nascondevano" nel complesso di forme morfologicamente piuttosto simili un tempo considerate tutte riferibili agli stadi verdi e rossi di *G. sanguineum* è l'effettivo agente dell'arrossamento (attualmente presente in quantitativi minimi nel lago) e che questa forma in coltura non perde mai la colorazione rossa. Questa specie, di recente istituzione, è stata chiamata *Tovellia sanguinea*, mentre quelli che un tempo erano considerati essere gli stadi verdi di *G. sanguineum* sono ora per lo più riferiti alla nuova specie *Baldinia anauniensis*. Analisi recentemente effettuate hanno permesso di mostrare la presenza di aminoacidi affini alla micospolina (MAAs) in questa specie.



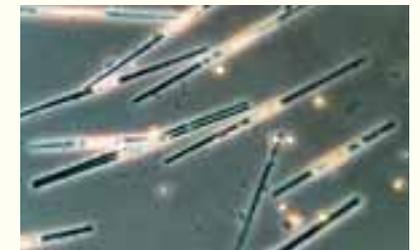
Tovellia sanguinea



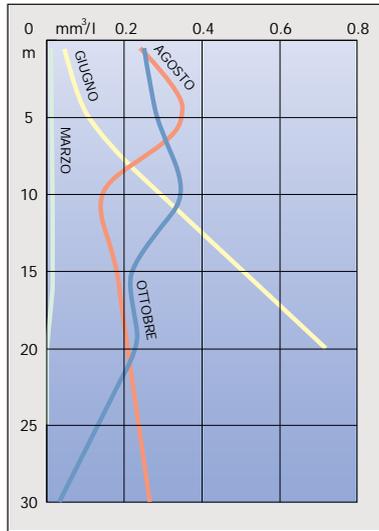
Campylomonas sp.



Baldinia anauniensis



Fragilaria tenera



Variazione stagionale del biovolume di fitoplancton presente (mm³/litro) a diverse profondità (in metri)

È stato già ricordato che i principali gruppi di alghe e cianobatteri presenti nei laghi di alta montagna variano a seconda della natura delle rocce del bacino idrografico, e quindi del livello di mineralizzazione, e che la distribuzione verticale di questi organismi nella colonna d'acqua non è affatto casuale. Va anche sottolineato che i gruppi algali presenti cambiano in maniera più o meno pronunciata nelle varie stagioni e che anche la distribuzione delle specie con la profondità può mutare notevolmente nei diversi momenti dell'anno.

Tracciare un quadro generale delle variazioni stagionali del fitoplancton è difficile a causa delle complesse combinazioni di fattori ambientali che tendono a conferire a ogni laghetto d'alta

quota caratteristiche peculiari. Un tentativo di generalizzazione potrebbe, tuttavia, essere il seguente. In primavera-inizio estate, dopo la fusione del ghiaccio, dominano spesso alghe flagellate appartenenti ai gruppi dei dinoflagellati e delle criptofite. Le alghe verdi tendono a essere dominanti in piena estate, mentre le diatomee planctoniche raggiungono picchi di abbondanza in laghi non aciduli in autunno e in primavera (ma possono essere abbondanti anche in piena estate nel caso di condizioni meteorologiche loro favorevoli). I cianobatteri planctonici generalmente raggiungono le massime densità in autunno. Le crisofite risultano abbondanti in molti laghi d'alta quota indipendentemente dal periodo di campionamento, presentando spesso un massimo a profondità intermedie. L'intenso sviluppo delle dinoflagellate corazzate acidofile (come *Peridinium umbonatum*) subito dopo il disgelo è un aspetto caratteristico dei laghi di alta quota scarsamente mineralizzati. Questo aspetto è ben ravvisabile anche nei diagrammi che mostrano la distribuzione verticale della biomassa del fitoplancton e le variazioni nell'importanza dei vari gruppi nelle diverse stagioni in un lago alpino con acque minimamente mineralizzate e debolmente acide. In questo lago le dinoflagellate continuano a essere dominanti anche in piena estate per essere successivamente sostituite dalle alghe verdi (genere *Oocystis*). In inverno i quantitativi di fitoplancton sono notevolmente ridotti. Le diatomee planctoniche mancano quasi del tutto, come ci si aspetta per laghi con queste caratteristiche chimiche.

■ Alghe delle rive e dei fondali

Oltre che dalle piante superiori, dalle briofite e dai licheni, che contribuiscono a segnare la linea di livello massimo dell'acqua, l'attenzione dell'escursionista può essere attratta da ammassi talora cospicui di alghe verdi filamentose e da vegetali che sembrano piante superiori acquatiche, ma che sono in realtà alghe: le carofite. Esse sono più frequenti e abbondanti su substrato carbonatico. Tuttavia i due generi più importanti si possono rinvenire anche in laghetti di montagna delle Alpi rispettivamente su substrato carbonatico (il genere *Chara*) e su substrato siliceo (il genere *Nitella*). Come è stato già ricordato queste alghe macroscopiche presentano una struttura complessa che le fa assomigliare a piantine con internodi e nodi e, se si maneggiano, è difficile non notare ben presto un caratteristico odore d'aglio. Nella colonizzazione dei laghi di montagna prediligono generalmente le zone di riva, anche quelle dove l'acqua ha profondità modestissima e dove possono trovarsi all'asciutto se ci sono variazioni di livello o restare inglobate nel ghiaccio in inverno. Talora tuttavia si spingono anche fino a profondità di una certa rilevanza.

Altri vegetali appariscenti, che possono essere presenti sulle rive dei laghetti delle Alpi, sono le alghe verdi filamentose. Formano masserelle filamentose appoggiate sui substrati disponibili (sassi, muschi). I colori tipici sono vari toni di verde. Quando questo è brillante nel momento in cui lo sviluppo è più rigoglioso si tratta per lo più di *Zygnemales*. Al microscopio, i generi più comuni sono facilmente riconoscibili, anche a bassi ingrandimenti, per le forme caratteristiche dei cloroplasti: in *Spirogyra* sono a spirale, in *Zygnema* a forma di stella e infine più semplici (a "barra") in *Mougeotia*. Nella zona interessata dalle variazioni di livello e anche poco al di sopra del livello più frequente può essere presente l'alga verde filamentosa *Ulothrix* (*Ulothrichales*). Per lo più sommerse, ma comunque generalmente molto vicine a riva, si possono trovare le *Oedogoniales* con il genere *Oedogonium*, in cui le cellule presentano a un'estremità una caratteristica serie di singolari "calotte" (derivanti dal particolare meccanismo di divisione cellulare e di accrescimento della parete cellula-



Zonazione verticale di cianobatteri e licheni sopra un masso presso le rive di un laghetto d'alta quota

re bistratificata, e il cui numero corrisponde a quello delle divisioni cellulari). In moderati quantitativi le alghe verdi filamentose sono piuttosto frequenti nei laghi d'alta quota. Il loro sviluppo diventa invece rigoglioso e i quantitativi notevoli in situazioni ambientali ben precise che, quasi sempre, implicano un aumentato apporto di sostanze nutritive alle rive del lago (per esempio bestiame al pascolo, stalle nelle vicinanze ecc.). Un'altra situazione di anomalia in cui lo sviluppo di certe alghe verdi filamentose può diventare eccessivo e quindi vistoso è l'acidificazione dovuta agli apporti di inquinanti acidi con le precipitazioni.

In particolare in laghi collocati su rocce cristalline, se vicino alle rive vi sono zone torbose o quando sono comuni insenature con accumuli di sedimento fine e detrito, possono essere molto abbondanti le *Desmidiaceae*. Queste sono alghe verdi, per lo più unicellulari (talora le cellule formano filamenti), dalle forme - apprezzabili solo al microscopio - molto varie e molto belle: per questo motivo il gruppo è noto anche con il nome comune di alghe moniliformi.

I gruppi algali più importanti che colonizzano rive e fondali dei laghetti di montagna sono tuttavia quelli che forse danno luogo alle manifestazioni meno facilmente percepibili a occhio nudo: si tratta delle diatomee e delle alghe verdi-azzurre (cianofite/cianobatteri). Queste ultime formano in realtà caratteristiche fasce di vario colore (nero, rossiccio, verde turchese, bruno rossiccio, marrone) disposte a distanze tipiche dal livello idrometrico medio dell'acqua. Le diatomee sono invece percepibili solo come coperture di colo-



Alghe verdi filamentose (*Spirogyra* sp.) e briofite in un laghetto di alta montagna

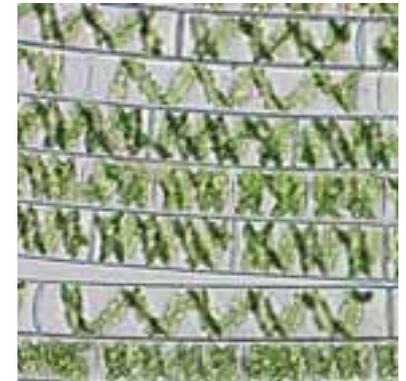
re bruno-dorato sui sassi e sulle rocce e come patine che possono diventare anche piuttosto spesse sulle piante acquatiche (in particolare sulle parti senescenti).

Alcune delle bande colorate dovute alle cianofite o cianobatteri sono molto vistose. In particolare, stando presso un lago di alta montagna si nota frequentemente la banda nerastra che sovrasta per alcune decine di cm il livello medio dell'acqua nei laghetti delle Alpi caratterizzati da una certa variabilità di livello (la maggioranza). Questa fascia nerastra è nota anche come "linea a *Gloeocapsa*", dal nome del genere di cianobatteri che più comunemente si rinvengono sulle rocce in questa banda. Il colore nerastra deriva da pigmenti fotoprotettivi color viola (gloeocapsine), accumulati da questi cianobatteri per prevenire i danni causati dalla radiazione ultravioletta che caratterizza gli habitat difficili ed esposti da essi colonizzati.

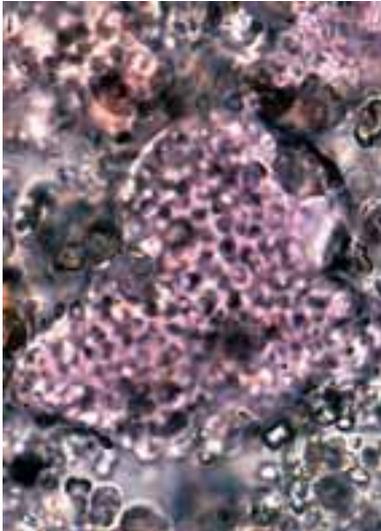
Alghe e cianobatteri non si insediano solo nelle acque basse, ma in tutte le rive e i fondali, a partire dalla zona inumidita solo occasionalmente dagli spruzzi delle onde, fino a fondali situati anche a profondità notevoli nel caso di laghi molto trasparenti. Si tratta infatti di organismi che ricavano l'energia per la vita attiva dalla luce grazie alla fotosintesi e che quindi per colonizzare il fondo con popolazioni stabili e vitali richiedono perlomeno una frazione esigua della luce incidente sulla superficie. È opportuno qui ricordare che le cianofite o cianobatteri, un tempo note come alghe verdi-azzurre, hanno una struttura cellulare semplificata - affine a quella dei batteri - senza un vero e proprio nucleo separato da membrane, e sono quindi più correttamente da considerarsi batteri, anche se utilizzano l'energia del sole con un processo fotosintetico che porta alla liberazione di ossigeno, esattamente come le alghe e le piante superiori.

Le ricerche che hanno documentato la distribuzione con la profondità di cianobatteri e alghe nei laghetti delle Alpi e degli Appennini e di altre catene montuose europee non sono molte: si tratta, infatti, di indagini molto impegnative anche sul campo, visto che la distribuzione delle alghe nelle acque più profonde è ben rilevabile solo con l'ausilio di sommozzatori che necessitano di attrezzature pesanti che vanno trasportate in quota insieme alle opportune strumentazioni scientifiche.

Le varie zone di distribuzione con la profondità, in particolare la loro colorazio-



Alga verde filamentosa (*Spirogyra* sp.) vista al microscopio



Il cianobatterio *Chlorogloea purpurea*: specie rara, finora rinvenuta solo sui fondali rocciosi profondi di due laghi alpini (Lunzer Untersee in Austria e Lago di Tovel, Dolomiti di Brenta, Trentino Alto Adige)

ne generalmente nerastra, bruna o ros-siccia, risultano caratterizzate in parti-colar modo dai cianobatteri. Sopra il livello medio dell'acqua, nella zona solo occasionalmente inumidita da spruzzi e onde, si trovano per esempio diverse specie della già citata *Gloeocapsa*, *Calothrix parietina*, *Chamaesiphon polonicus*. A modesta profondità sui massi, si sviluppa spesso una patina più o meno spessa, marroncina, che contiene diversi cianobatteri, tra i quali possono essere presenti specie di *Scytonema*, *Schizothrix*, *Dichothrix*, *Tolypothrix*, *Ammatoidea*. Con l'aumentare della profondità si rin-vengono altre zone caratterizzate da taxa quali *Tolypothrix*, *Nostoc*, *Phormidium*. Solo a profondità considerevoli e su substrato carbonatico si sviluppa-no taxa quali *Geitleribactron periphyticum* e la rara *Chlorogloea purpurea*. Anche le microalghe diatomee mostrano frequentemente una distribuzione con la profondità che, pur non essendo percepibile ad occhio nudo, è molto caratteristica. In particolare vi sono specie che sono diffuse quasi unicamente a profondità modeste (per esempio *Denticula tenuis*, *Delicata delicatula*), specie che si rinvergono solo, o che presentano chiari picchi di abbondanza, a profondità intermedie (per esempio *Gomphocymbellopsis ancylis*, *Brachysira calcicola* e *Achnanthes trinodis*), specie che si sviluppano prevalentemente nelle acque profonde (per esempio *Achnanthes montana*, *Staurosira pinnata*, *Staurosira brevistriata*) e specie che riescono a colonizzare un po' tutte le profondità senza un'apparente preferenza specifica (*Achnantheidium minutissimum*). Va sottolineato che la profondità colonizzata da una specie di diatomea può variare di lago in lago e, in laghi con bacini con caratteristiche diverse, anche all'interno dello stesso lago. A profondità considerevoli si possono talora rinvenire alghe rosse (rodofite): diversi generi di questo gruppo sono noti per essere ben adattati ad ambienti scarsamente illuminati.

Le condizioni ambientali alle quali cianobatteri ed alghe si trovano ad essere esposti nei laghetti d'alta quota variano infatti considerevolmente con l'aumentare della profondità. Nella parte alta, specie se interessata da variazioni di livello, il rischio di prosciugamento è elevato e l'esposizione all'ambiente

subaereo in alta quota obbliga questi organismi a resistere a dosi notevoli di radiazione ultravioletta. Con l'aumentare della profondità il problema ambientale principale è invece il rapido diminuire della luce disponibile.

Generalmente si considera che lo sviluppo delle alghe sia possibile fino alla profondità in corrispondenza della quale la porzione della luce utilizzabile per la fotosintesi è pari all'1% del quantitativo della stessa che incide sulla superficie del lago. La parte del lago così definita in cui è possibile lo sviluppo delle alghe è detta zona eufotica; al di sotto di questa si estende una zona con acque buie e fredde (zona afotica), in cui viene degradata la sostanza organica prodotta nella parte superiore del lago. Va sottolineato che non tutte le componenti dello spettro

luminoso hanno la stessa capacità di penetrazione in acqua ed esse vanno quindi incontro a un assorbimento selettivo, che dipende anche dalle caratteristiche delle sostanze e delle particelle in soluzione e sospensione nell'acqua. La radiazione ultravioletta viene così generalmente assorbita nei primi metri d'acqua (anche se in laghetti di alta montagna molto trasparenti può penetrare anche per una decina di metri), mentre in laghi poveri di nutrienti (oligotrofi) le componenti che penetrano alle profondità maggiori (diverse decine di metri) sono quella blu e quella verde.

Con l'aumentare della profondità la temperatura diminuisce e, in particolare, le sue variazioni stagionali si riducono fino agli strati d'acqua più profondi che presentano acque con temperatura prossima ai 4°C (massima densità dell'acqua) per tutto l'anno.

La diminuzione della temperatura con la profondità non è regolare e spesso si ha una fascia, detta del salto termico, in corrispondenza della quale la temperatura diminuisce anche di diversi gradi per metro di profondità. Va tuttavia osservato che nei piccoli laghetti d'alta quota, che hanno profondità e volumi molto limitati e che sono occasionalmente oggetto di rimescolamento da parte del vento anche in corrispondenza di temporali estivi, spesso fatica a instaurarsi una fascia di salto termico con epi- ed ipolimnio ben sviluppati. Questo strato separa le acque della parte alta del lago illuminate, più calde e

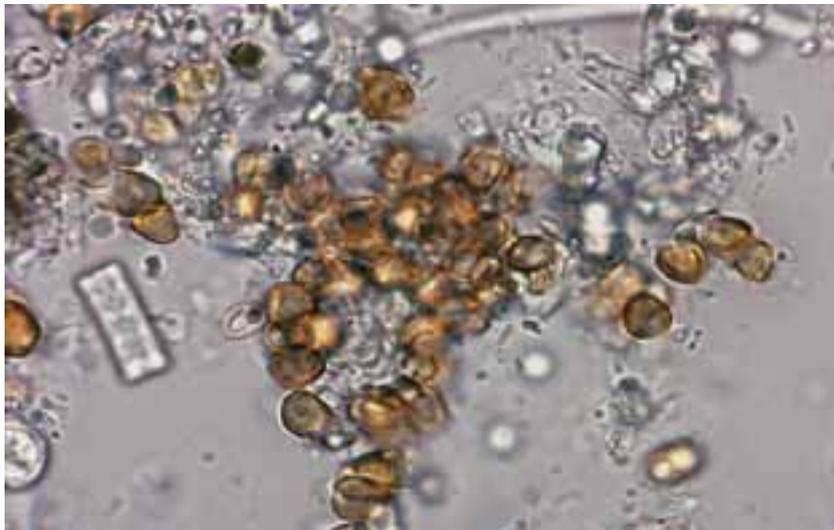


La diatomea *Gomphocymbellopsis ancylis*, specie a distribuzione oloartica che, nel Lago di Tovel (Dolomiti di Brenta, Trentino Alto Adige), si rinviene solo tra i 9 e i 18 m di profondità

produttive (epilimnio), da quelle profonde, poco o per nulla illuminate e più dense (ipolimnio). Poiché le alghe e gli altri autotrofi in grado di produrre ossigeno colonizzano la parte superiore del lago, mentre in quella profonda avviene la degradazione della sostanza organica ad opera di organismi che consumano ossigeno con la respirazione, l'epilimnio dei laghi profondi è ben ossigenato, mentre l'ossigeno disciolto nell'acqua può ridursi molto nell'ipolimnio. Analogamente i nutrienti algali sono meno abbondanti nell'epilimnio, dove vengono consumati da alghe, cianobatteri, licheni, briofite e piante vascolari, e più abbondanti nell'ipolimnio, dove possono anche generarsi dalla mineralizzazione della sostanza organica.

Nella zona di transizione dalle acque poco ossigenate dell'ipolimnio a quelle ricche di ossigeno dell'epilimnio, sui sassi del fondo in laghi su substrato siliceo e con acque con un certo tenore in ferro, si può assistere a un abbondante sviluppo di ferrobatteri. Questi beta-proteobatteri si collocano tipicamente in ambienti acquatici ricchi di ferro all'interfaccia tra habitat anossici e ossigenati (per esempio nella polla di sorgenti ferruginose). La vita che devono affrontare alghe e cianobatteri che vivono sui fondali dei laghi di montagna li espone a condizioni ambientali difficili che vengono superate grazie a una serie di adattamenti.

Nelle acque basse e vicine alle rive, frequentemente interessate dalle variazioni di livello, alghe e cianobatteri devono proteggersi dalla quantità elevata di



Chamaesiphon polonicus, cianobatterio con robusta guaina rossiccia che contribuisce a conferire resistenza al disseccamento

radiazione ultravioletta presente in quota. Le principali strategie messe in atto sono le seguenti: cercare attivamente un riparo, riparare i danni subiti dalla cellula e schermarsi dalla radiazione UV con composti fotoprotettivi.

Le prima strategia è attuabile solo da specie dotate di mobilità (per esempio filamenti in grado di spostarsi con movimenti "striscianti") e le prime due richiedono cellule fisiologicamente attive. Per muoversi e riparare danni a livello molecolare, che generalmente sono a carico del DNA, serve infatti che il metabolismo cellulare, e quindi anche i sistemi enzimatici in grado di eseguire le riparazioni, siano attivi. La terza strategia presenta invece il grande vantaggio di essere attuabile anche quando la cellula entra in uno stadio di quiescenza o di metabolismo ridotto per superare così i periodi più sfavorevoli. Uno dei più comuni pigmenti fotoprotettivi dei cianobatteri, insieme alle già citate gleocapsine, è infatti la scitonemina, in grado di assorbire l'UVA e parte dell'UVB e quindi una cospicua frazione delle componenti più pericolose della radiazione ultravioletta. La scitonemina viene prodotta solo da alcuni taxa di cianobatteri, che la immagazzinano al di fuori della cellula, generalmente all'interno delle guaine che proteggono alcune specie. La scitonemina conferisce un caratteristico colore giallo a queste guaine che proteggono le cellule anche in periodi in cui il loro metabolismo è pressoché inattivo.

Queste guaine possono essere anche spesse e robuste (come nel caso della specie *Chamaesiphon polonicus*, in cui sono di un bel colore rosso-marrone vivace), proteggendo così le cellule dal rischio della disidratazione nei periodi in cui specie prive di mobilità vengono a trovarsi all'asciutto.

Anche molte specie di diatomee, al pari, come si è visto, di diverse specie di cianobatteri, sono dotate di mobilità e possono quindi sfuggire o cercare di sfuggire attivamente al disseccamento. Altre specie non mobili producono importanti quantità di mucillagini, in cui le cellule restano immerse resistendo così più a lungo alla disidratazione.

Le diatomee, le altre alghe e i cianobatteri non colonizzano solo i sassi ma anche il sedimento superficiale. Su questo substrato si insediano unicamente diatomee dotate di mobilità (in particolare specie dei generi *Navicula* s.l., *Nitzschia* e *Surirella*), che compiono addirittura spostamenti (migrazioni) verticali giornaliere nei primi centimetri di sedimento. Questi spostamenti consentono loro di utilizzare la luce nelle ore del giorno e di spingersi all'interno del sedimento in microhabitat più ricchi di nutrienti nel corso della notte. La mobilità è inoltre fondamentale per le alghe del sedimento che altrimenti rischierebbero di rimanere sepolte da microsmottamenti e sedimentazione di materiale.

Con l'aumentare della profondità non c'è più bisogno di difendersi dalla luce, ma anzi è necessario riuscire a cogliere e utilizzare al meglio tutta quell-



Cianobatteri su un masso

la che riesce a penetrare attraverso l'acqua. Per conseguire questo risultato, le microalghe dei laghetti d'alta quota possono, per esempio, aumentare l'efficienza e quindi la resa dell'apparato fotosintetico. Gli altri adattamenti messi in atto giocano sui quantitativi assoluti della clorofilla e dei principali pigmenti accessori e sulle loro proporzioni relative.

I pigmenti accessori sono composti che fanno parte dei complessi fotosintetici e il cui ruolo principale è quello di convogliare frazioni dell'energia luminosa verso i centri di reazione delle clorofille. In generale, le microalghe che vivono sul fondo a grande profondità tendono ad avere un contenuto cellulare più elevato di clorofilla. Aumenta anche il contenuto cellulare del principale pigmento accessorio. Nel caso delle diatomee si tratta della fucoxantina, di colore marrone-dorato, ed è questo il motivo per cui le diatomee prelevate a grande profondità hanno generalmente un colore marrone scuro che differisce talora vistosamente da quello delle cellule campionate in acque basse con cloroplasti giallo-verdi.

I cianobatteri hanno due principali pigmenti accessori: uno blu (ficocianina) e uno rosso (ficoeritrina). Per adattarsi agli ambienti con scarsa luce dei fondali profondi dei laghetti possono variare sia i quantitativi assoluti per cellule che quelli relativi alla clorofilla di questi pigmenti. Questo meccanismo adattativo è noto come adattamento fotocromatico. Individui di una stessa specie possono così apparire del caratteristico colore verde-azzurro se provenienti da popolazioni insediate a profondità modeste e rosa-violetti se provenienti da popolazioni che vivono a profondità importanti. Un meccanismo analogo può verificarsi anche a livello di comunità, nel senso che alle profondità maggiori tendono a insediarsi specie che sono permanentemente di colore rosa-violetto.

Nel corso di una ricerca sulla distribuzione delle alghe di fondo nel Lago di Tovel, sono inoltre state notate cellule di diatomee non solo in buono stato, ma addirittura in movimento in campioni provenienti dalla zona profonda priva di luce (zona afotica). È noto che alcune diatomee, in assenza di luce, possono adottare modalità di nutrizione eterotrofa assumendo composti organici di vario tipo. Molto più comunemente accade che le alghe sopravvivano a periodi di permanenza nelle parti buie del lago entrando in uno stadio di quiescenza con metabolismo ridotto ai minimi termini.

la che riesce a penetrare attraverso l'acqua. Per conseguire questo risultato, le microalghe dei laghetti d'alta quota possono, per esempio, aumentare l'efficienza e quindi la resa dell'apparato fotosintetico. Gli altri adattamenti messi in atto giocano sui quantitativi assoluti della clorofilla e dei principali pigmenti accessori e sulle loro proporzioni relative.

■ Piante acquatiche e delle rive

I laghi d'alta quota sono ambienti in cui non ci si aspetta di rinvenire una ricca presenza di piante superiori acquatiche e semiacquatiche. Nel corso di escursioni aventi per meta laghetti di montagna, sarà tuttavia probabilmente capitato di imbattersi in carici, giunchi ed equiseti sulle rive di laghi con tratti di sponda ove si depositano sedimenti fini; si saranno forse anche notati i disegni curiosi ed eleganti formati dalle foglie sottili e molto allungate di coltellaccio natante (*Sparganium angustifolium*) che galleggiano sul pelo dell'acqua, o si saranno osservati i piccoli fiori bianchi del ranuncolo che affiorano sul lago rivelando la presenza di gruppi di queste esili piantine semisommerse. Anche nei laghi d'alta quota possono quindi essere presenti piante sommerse, semi-sommerse e delle rive (perilacustri igrofile).

Queste piante vascolari si insediano soprattutto in laghi nei quali possa verificarsi accumulo di sedimenti, con formazione di fondali sabbioso-limosi e con detrito organico. Questo avviene, per esempio, nelle zone in prossimità dell'emissario, in laghi soggetti a un certo carico trofico, o in quelli in corso di interramento, un processo generalmente lento, che tuttavia riguarda inesorabilmente tutti i laghi. In esso le piante, perilacustri ed acquatiche, giocano un ruolo fondamentale. Alla fine di ogni stagione vegetativa, infatti, una notevole quantità di materiale vegetale, derivante dal loro sviluppo, si accumula sul fondo favorendone l'innalzamento. Questo processo finisce poi con l'offrire nuovo



Cariceto ripariale che circonda un laghetto d'alta quota



Erioforo rotondo (*Eriophorum scheuchzeri*)

substrato per l'insediamento delle piante perilacustri che, nei laghi d'alta quota, sono le protagoniste principali del processo, visto che le piante acquatiche sono limitate a un ridotto numero di specie.

Nei testi botanici, piuttosto che citare le specie guida, si preferisce riportare i nomi latini delle associazioni che vengono caratterizzate con regole molto precise. Può tuttavia darsi che in un certo territorio le specie guida che danno il nome all'associazione non siano particolarmente diffuse, anche se esistono comunità vegetali che per altre loro caratteristiche sono chiaramente attribuibili a quell'associazione. Nella descrizione che seguirà per semplicità non si riporteranno i nomi latini delle associazioni, ma si semplificherà il discorso parlando di comunità vegetali caratterizzate dalle specie dominanti, che interessa qui ricordare e che sono tra le più diffuse nei laghi di alta montagna.

Diverse specie del genere *Potamogeton* si possono rinvenire anche nei laghi di alta quota. Si tratta di rizofite radicanti sul fondo di laghi e pozze.

La comunità a brasca alpina (*Potamogeton alpinus*) si sviluppa in laghi oligotrofici e mesotrofici, su substrati sia carbonatici sia silicei. Le acque in cui si trova sono quindi leggermente alcaline, ma non molto mineralizzate. La comunità a brasca (*Potamogeton praelongus*) si insedia generalmente in acque piuttosto profonde in laghi d'alta quota oligotrofici su substrato siliceo. Il rinvenimento è reso più difficile dalla colonizzazione preferenziale di parti dei fondali distanti dalle rive e profondi. Questa specie è molto rara ed è stata per lo più raccolta nell'ambito di situazioni che consentivano l'osservazione o il campionamento del fondo (immersioni di subacquei, campionamenti limnologici con benna). Quella a brasca filiforme (*Potamogeton filiformis*) è la comunità di piante acquatiche che raggiunge le altitudini maggiori nelle Dolomiti orientali. Si sviluppa in laghi mesotrofici su substrato carbonatico in acque basse molto vicine alla riva. Comprende anche la coda di cavallo acquatica (*Hippuris vulgaris*), alghe caracee (*Chara* sp.) e la carice *Carex rostrata*. *Hippuris vulgaris* è diffusa soprattutto a quote modeste (fino a circa 600 m s.l.m.). La specie, tuttavia, è stata occasionalmente segnalata anche in laghi d'alta quota, che si suppone abbia raggiunto grazie al trasporto di semi operato da uccelli migratori.

In laghi di montagna situati su substrato carbonatico a quote non troppo elevate e soggetti a una certa eutrofizzazione può svilupparsi, a profondità di una



I capolini (fiori) di coltellaccio natante (*Sparganium angustifolium*)

certa rilevanza (fino a 3 m), l'associazione avente come specie caratterizzante la brasca arrotondata (*Potamogeton perfoliatus*). Questa comprende anche l'invasiva peste d'acqua (*Elodea canadensis*).

Le comunità a *Callitriche* e *Sparganium* e quelle a *Ranunculus trichophyllus* ssp. *eradicatus* formano tappeti erbosi discontinui nelle acque basse di laghi collocati nelle fasce vegetazionali subalpina e alpina. La gamberaja comune (*Callitriche palustris*) si può rinvenire in laghetti d'alta quota su substrato siliceo nelle zone sabbiose a profondità modesta (è nota per esempio per il Lago delle Buse in Trentino).

In laghi carbonatici eutrofici a quote modeste può svilupparsi la ninfea bianca (*Nymphaea alba*). La comunità caratterizzata da questa pianta non è molto diffusa nelle regioni montane, poiché ha una chiara preferenza per corpi d'acqua che si riscaldano considerevolmente nei mesi estivi. Anche le comunità con canna palustre (*Phragmites australis*) sono presenti quasi esclusivamente in laghi situati a quote modeste e soggetti a un certo carico di nutrienti (eutrofici).

Nelle acque basse di laghi mesotrofici di montagne carbonatiche, che possono essere soggette a prosciugamento nei mesi estivi, si può insediare la comunità caratterizzata da brasca comune (*Potamogeton natans*) e poligono anfibio (*Polygonum amphibium*). I laghi in cui si rinviene si trovano tipicamente nei piani vegetazionali subalpino superiore e alpino inferiore. Gli habitat colonizzati sono spesso impattati, in particolare sono di solito soggetti agli apporti eutrofizzanti del bestiame all'abbeverata. Il poligono anfibio è tuttavia specie relati-



Forte sviluppo di coltellaccio natante (*Sparganium angustifolium*) ai bordi di un laghetto alpino

vamente rara sull'arco alpino, in particolare sul versante meridionale.

La comunità caratterizzata da coltellaccio natante dominante, accompagnato da *Ranunculus trichophyllus* ssp. *eradicatus*, è tipica della zona litorale di laghi nei piani vegetazionali subalpino superiore-alpino inferiore su gruppi montuosi silicei. Si sviluppa in acque basse, talora soggette a prosciugamento durante la magra estiva, su un substrato costituito da sabbia e limo e da frazioni variabili di detrito organico. Si tratta di laghi scarsamente mineralizzati e con acque debolmente acide. I fiori dello *Sparganium angustifolium* sono verdastri e assai poco vistosi. La presenza di questa macrofita in un laghetto alpino viene invece generalmente rivelata dalle foglie sottili e nastriformi che possono superare la lunghezza di un metro. Ancorate al fondo, crescono dapprima verticalmente, e quindi, raggiunta la superficie, orizzontalmente, affiancandosi strettamente una all'altra. *Sparganium angustifolium* è specie poco frequente e distribuita in maniera piuttosto discontinua in numerosi distretti dell'arco alpino.

Esistono poi comunità che consistono sostanzialmente in popolamenti puri di *Ranunculus trichophyllus* ssp. *eradicatus*, che colonizzano le acque basse di laghi oligotrofici d'alta quota su substrato siliceo. Raramente, il ranuncolo è accompagnato da modesti quantitativi di *Sparganium angustifolium*. Può quindi essere che il popolamento puro di ranuncolo rappresenti lo stadio dinamico iniziale nella colonizzazione dei laghi d'alta quota delle montagne silicee. Il substrato colonizzato da *Ranunculus trichophyllus* ssp. *eradicatus* è costituito da detrito minerale grossolano praticamente privo di sostanza organica. L'acqua è pressoché neutrale o debolmente alcalina e moderatamente mineralizzata. Man mano che nel sedimento si accumula sostanza organica, in grado di sequestrare ioni dall'acqua che viene acidificata, *Ranunculus trichophyllus* ssp. *eradicatus* viene gradualmente sostituito da *Sparganium angustifolium*.

In laghi a quote medie su substrato siliceo con rive strutturate e piuttosto ricche di vegetazione si può rinvenire il trifoglio d'acqua (*Menyanthes trifoliata*). In Trentino è stato rinvenuto nel Lago delle Buse e nel Lago delle Malghette.

Sulle rive dei laghi alpini è comune poter scorgere i fiocchetti o eriofori. *Eriophorum angustifolium* è diffuso sul bordo di laghi e pozze d'alta quota. La comu-



Ranuncolo a foglie capillari (*Ranunculus trichophyllus* ssp. *eradicatus*)

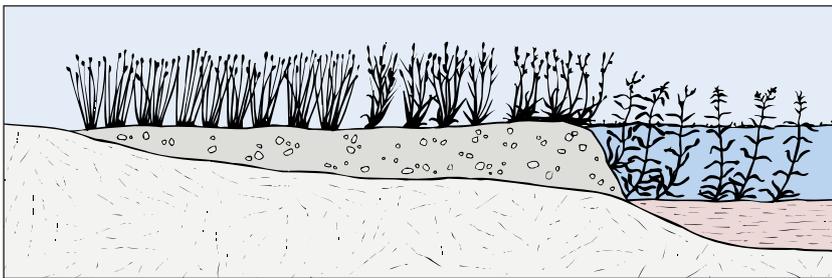
nità a *Eriophorum scheuchzeri* è l'associazione di torbiera bassa più diffusa nella fascia alpina e si può trovare frequentemente anche in riva ai laghi.

La distribuzione delle piante sui fondali e sulle rive dei laghetti alpini d'alta quota non è affatto casuale. Si ha una disposizione tipica che, procedendo dalle acque libere della parte centrale del laghetto verso le rive è la seguente: piante sommerse ed eventuali muschi acquatici, piante semisommerse, muschi delle rive ed igrofilii, piante di palude. La vegetazione quando è ben sviluppata si dispone in caratteristiche fasce, note come cinture, e la loro disposizione si dice formare una seriazione ecologica.

Se consideriamo la seriazione della vegetazione dal centro degli specchi lacustri alle rive, e quindi allontanandosi dall'acqua, possiamo ricordare che, nelle Dolomiti, nei laghi e nelle pozze oligotrofiche la comunità più frequente al limite periferico delle acque libere è quella a *Sparganium* e *Callitriche*, mentre le sponde sono caratterizzate in successione da una comunità a *Carex limosa* seguita da una a *Eriophorum vaginatum* e trifloro cespuglioso (*Trichophorum caespitosum*). I laghi mesotrofi sono colonizzati, sempre dal centro alla periferia, da brasca filiforme, brasca comune e poligono anfibio. I laghi eutrofi e situati a quote modeste (fino a 1000 m s.l.m. circa) possono presentare dense coperture di *Nymphaea alba*, di brasca delle lagune (*Potamogeton pectinatus*) e *P. perfoliatus*.

Oltre alle piante superiori possono avere un ruolo rilevante le briofite, sia con ammassi semigalleggianti di notevoli dimensioni in laghi bassi (noti anche come "aggallati", in particolare se formati da sfagni), sia come colonizzatori delle rive. Si tratta di un habitat ideale per i vari stadi di sviluppo della rana di montagna. La presenza di piante d'acqua e briofite, sommerse e sulle rive, favorisce l'insediarsi di comunità animali e vegetali più ricche. Su di esse si sviluppano patine di microalghe epifite formate da numerose specie.

I licheni colonizzano diffusamente le rive sassose dei laghi di alta montagna. Si tratta tuttavia prevalentemente di specie che vivono in ambiente emerso, o



Seriazione della vegetazione sulle rive di un lago di alta quota (Lago delle Buse, Trentino Alto Adige); il transetto è caratterizzato, dall'acqua alla riva, da: comunità con coltellaccio natante e gamberaja comune, due comunità a carici e infine una comunità con eriofori e trifloro cespuglioso



Trifloro cespuglioso (*Trichophorum caespitosum*)



Aggallati di briofite in un laghetto d'alta quota

eventualmente nella zona inumidita solo occasionalmente dagli spruzzi. Esistono anche specie adattate all'ambiente acquatico, che però sono state finora poco o per nulla studiate nei laghi. È probabile che esse, in ogni caso, si insedino solo fino a profondità relativamente modeste. I licheni derivano infatti notoriamente da una simbiosi tra funghi e alghe e queste ultime (dette in questo caso anche fotobionti) necessitano di buone condizioni di illuminazione per poter svolgere la fotosintesi. Nel caso dei laghi di alta montagna si può ipotizzare che l'elevata trasparenza dell'acqua possa giocare a loro favore, rendendone possibile l'insediamento anche a profondità di una certa importanza. Vi sono notevoli differenze tra le specie di licheni rinvenibili sulle rive di laghi posti rispettivamente su rocce silicee e carbonatiche.

Altre variabili naturali che influenzano in maniera importante i popolamenti lichenici delle rive dei laghi sono il livello di ombreggiatura e quello di umidità. Inoltre, anche i licheni tendono a disporsi in maniera caratteristica rispetto al livello dell'acqua, formando associazioni tipiche di bande della zona sommersa, della parte inferiore e superiore della zona inumidita da onde e spruzzi, ed infine della zona più propriamente terrestre, eventualmente influenzata da una maggiore umidità dovuta alla presenza del lago. Le variazioni stagionali e a breve termine dei popolamenti di licheni sono di gran lunga inferiori rispetto a quelle descritte per le alghe. Questo va ricondotto ai tassi di crescita molto modesti dei licheni, generalmente pari a meno di un millimetro o a pochi millimetri per anno.

Invertebrati: lo zooplancton

FABIO STOCH

■ Zooplancton dei laghi d'alta quota

Lo zooplancton dei laghetti montani ha attirato la curiosità degli zoologi italiani sin dalla fine dell'800, quando comparvero i pionieristici lavori di Pietro Pavesi (1844-1907). Le ricerche conobbero un periodo di rapida crescita nella prima metà del secolo scorso soprattutto ad opera, tra gli altri, di Rina Monti, della figlia Emilia Stella, di Marco de Marchi, di Edgardo Baldi, di Pietro Parenzan. Fu la Monti ad introdurre alcune innovazioni tecniche, facendo costruire una



Lago nel Massiccio dell'Argentera (Piemonte)

barca pieghevole, battezzata "Pavesia" in onore del suo maestro, espressamente progettata per ricerche limnologiche in laghetti alpini. Nei decenni successivi la storia della limnologia dei laghi d'alta quota si lega a quella dell'Istituto Italiano di Idrobiologia "Marco de Marchi" di Pallanza (oggi CNR-ISE, Istituto per lo Studio degli Ecosistemi). Nel 1951 Vittorio Tonolli, direttore dell'Istituto, promosse, insieme alla moglie Livia Pirocchi, il primo monitoraggio su larga scala dello zooplancton di laghetti d'alta quota delle Alpi e dell'Appennino settentrionale, indagine che fu seguita da altre campagne di ricerca ad opera dello stesso Istituto, del Dipartimento di Biologia dell'Università di Parma e del Museo Tridentino di Scienze Naturali.

Per capire lo spirito dei primi ricercatori (ma in parte anche di quelli odierni) che si sono occupati dello zooplancton dei laghetti d'alta quota, è piacevole la lettura di un lavoro di Rina Monti del 1936, in cui la limnologa descrive la sua escursione al Lago di Valparola (Dolomiti, m 2192 s.l.m.).

Dopo un impegnativo itinerario, la Monti raggiunge il lago ed esegue con un retino le pescate di plancton; lasciamola narrare: "All'uscir della stretta aspra e sassosa ... l'occhio si allieta in vista di una conca verdeggiante, sul cui fondo brilla lo specchio opalino del piccolo lago. La società dei viventi nelle acque si riduce ... ai più piccoli organismi fluttuanti. ... Così ho trovato abbondantissima una dafnia che subito richiamò la mia attenzione ... In complesso l'esame

Daphnia middendorffiana (Lago d'Antermoia)



anatomico mi fa ascrivere questa forma al noto gruppo "*Daphnia longispina* var. *hyalina*" ... Le dafnie non sono sole a popolare il bacino di Val Parola: si vedono insieme molti copepodi abbastanza voluminosi, di un bel colore rosso carota, che devo ascrivere alla specie *Heterocope saliens*... Insieme con questi piccoli crostacei, appena visibili ad occhio nudo ... ho trovato abbondanti altre specie ... In prima linea sono i Chidorida, della specie *Chydorus sphaericus*: ... Fritz Zschokke li chiamava per antonomasia gli "inevitabili" avendoli trovati in numerosi laghi alpini da lui studiati... Accanto agli "inevitabili" ho trovato anche due specie che sono rare nelle Alpi e dal Pesta considerate come reperti d'eccezione".

Chi, come lo scrivente, ha passato molte delle sue vacanze estive alla ricerca dei microcrostacei nei laghi alpini, si emoziona leggendo queste righe che riassumono in sé molte delle sensazioni, delle speranze e delle idee che passano per la mente quando ci si accinge a campionare un lago d'alta quota: il faticoso itinerario di avvicinamento, le aspettative, le continue sorprese che ci offre il prelievo del plancton (i "piccoli organismi fluttuanti" della Monti). Sebbene le specie raccolte nel corso dei prelievi siano sempre poche, è comunque avvincente constatare la presenza di specie rare e tipiche degli ambienti d'alta quota, accanto a specie comuni e ad ampia valenza ecologica (gli "inevitabili", frustrazione dei primi limnologi).

Molti degli studi dei limnologi odierni, come di quelli del secolo scorso, sono rivolti a comprendere perché l'insieme dei gruppi che costituiscono lo zoo-



Lago Coldai (Trentino Alto Adige)

plancton (rotiferi, cladoceri e copepodi) sia rappresentato nei laghetti montani da un numero di specie di gran lunga inferiore a quello presente nei corpi d'acqua situati a quote più modeste, e perché esso sia costituito da tanti "inevitabili" generalisti e pochi specialisti, esclusivi di questi ambienti. Dopo un secolo di ricerche, le spiegazioni su cui concordano i limnologi sono sia di ordine storico che di ordine ecologico.

Le cause storiche derivano dal fatto che la maggior parte dei laghi d'alta quota è di origine recente, postglaciale (meno di 10.000 anni) ed alcuni sono ancora *in statu nascendi*. Le comunità zooplanctoniche ivi presenti sono pertanto dominate da specie con grandi capacità di dispersione e dunque prevalentemente generaliste. Queste specie possono aver colonizzato i laghetti provenendo sia da massicci di rifugio, sia da aree esterne alle catene montuose seguendo il ritiro dei grandi ghiacciai quaternari. Alcuni ricercatori hanno postulato che la formazione di una comunità zooplanctonica completa e ben strutturata possa richiedere anche molte migliaia di anni in siti distanti dai massicci di rifugio. Molte delle comunità attualmente osservabili sarebbero pertanto in evoluzione e quindi insature, costituite cioè da un limitato numero di specie.

Le cause ecologiche dipendono dalle condizioni ambientali che divengono via via più severe man mano si sale di quota: l'elevata persistenza della coltre ghiacciata (e quindi la breve durata del periodo favorevole alla riproduzione), le modeste quantità di nutrimento (e pertanto la spiccata tendenza all'oligotrofia dei bacini montani), l'elevata intensità delle dannose radiazioni UV, la presenza di specie ittiche planctofaghe (il più delle volte introdotte dall'uomo) anche in bacini di modesta estensione sono fattori che concorrono a ridurre la ricchezza specifica e a selezionare le specie più plastiche.

L'interesse per gli studi sullo zooplancton travalica oggi la curiosità scientifica: le modificazioni della struttura delle comunità indotte dall'immissione di specie ittiche aliene, dai fenomeni di acidificazione, dal *global change* e dall'incremento delle radiazioni UV costituiscono importanti problemi affrontati dalle attuali linee di ricerca. Gli affascinanti studi limnologici del passato e la notevole mole di dati faunistici ed ecologici nel tempo accumulati vengono così a costituire l'indispensabile supporto per fronteggiare e risolvere i problemi di domani.



Alona affinis



Esemplare ovigero del genere *Pedalia*

■ I principali gruppi zooplanctonici

Rotiferi. I rotiferi sono un taxon rinvenuto molto di frequente in laghi d'alta quota; tra gli studi che hanno riguardato un cospicuo numero di ambienti si sono sempre presentati come il gruppo con il maggior numero di specie identificate. Nelle prime ricerche su larga scala condotte dal CNR-ISE di Pallanza, in 170 laghi distribuiti sull'arco alpino e sull'Appennino settentrionale sono state identificate 79 specie zooplanctoniche di cui 45 (57%) appartenenti ai rotiferi. Analoga situazione è stata segnalata in uno studio più recente dello stesso Istituto che ha preso in considerazione 288 laghi alpini e, su un totale di 128 specie identifi-

cate, ben 84 (65%) appartenevano ai rotiferi. Tali informazioni evidenziano un buon adattamento del gruppo alle proibitive condizioni che caratterizzano gli ambienti d'alta quota, dovuto sia alle caratteristiche morfologiche che ad alcune peculiarità ecologiche.

I rotiferi presentano dimensioni generalmente inferiori ai 500 micron anche se alcune specie (*Asplanchna priodonta*) possono raggiungere dimensioni più elevate (1500 micron). Il corpo è allungato e caratterizzato da un piede, come organo di fissazione, e da una estremità boccale dotata di un apparato ciliare (corona), atto a convogliare l'alimento nella cavità orale. La corona oltre che nella funzione alimentare viene utilizzata per la locomozione ed il moto asincrono delle cilia genera un movimento rotatorio elicoidale, da cui deriva il nome del gruppo. La corona di cilia serve anche a rinnovare l'acqua attorno al corpo dell'animale, assicurando così il rifornimento di ossigeno e facilitando la respirazione e l'escrezione. La cuticola del tronco in alcuni generi è ispessita (lorica) e dotata di sculture che assumono valore tassonomico. Un altro carattere di solito utilizzato per il riconoscimento è il mastax, organo trituratore o filtratore, le cui parti costituenti differiscono a seconda delle abitudini alimentari. La maggior parte delle specie è filtratrice, tranne quelle del genere *Asplanchna* che presentano abitudini predatorie.

La cospicua presenza dei rotiferi nei laghetti d'alta quota è favorita sia dalle caratteristiche frigidostenoterme di alcune specie appartenenti ai generi *Kellicottia*, *Polyarthra*, *Pedalia* e *Notholca* che dall'elevata tolleranza termica di

altre, come quelle del genere *Keratella*, che sono in grado di sopravvivere sia in ambienti temperati freddi che in zone in cui le temperature raggiungono valori elevati.

Un altro elemento che facilita la colonizzazione di ambienti in genere ostativi allo sviluppo della gran parte degli organismi è la peculiare modalità riproduttiva che caratterizza questo gruppo. La riproduzione infatti avviene di norma per partenogenesi con la produzione di uova subitane, ma in determinate circostanze ambientali, che si suppongono sfavorevoli allo sviluppo delle specie, e soprattutto negli ambienti di più modeste dimensioni, compaiono maschi. La riproduzione diviene allora anfignonica, e vengono prodotte uova durature, che rimangono quiescenti per un certo lasso di tempo e schiudono soltanto quando le condizioni ambientali tornano favorevoli. La specie può continuare così il ciclo con la riproduzione partenogenetica. Nei periodi in cui il ghiaccio ricopre gli specchi d'acqua, le uova durature hanno il compito di preservare la presenza della specie nell'ambiente in attesa di una ricolonizzazione. Tale evento è di solito molto rapido considerando che le uova subitane hanno tempi di sviluppo brevi, dalle 12 alle 48 ore, e quindi in pochi giorni le popolazioni possono raggiungere densità elevatissime.

Pochi studi in Italia hanno riguardato l'evoluzione stagionale della densità dei rotiferi nei laghi d'alta quota; tra i più recenti l'indagine condotta nel parco dell'Adamello-Brenta dal Museo Tridentino di Scienze Naturali. Come negli studi precedentemente citati, il gruppo mostra una buona presenza: su 38 specie zooplanctoniche rinvenute, 21 (55%) appartenevano ai rotiferi: *Polyarthra* era il genere più diffuso, seguito da *Keratella*, *Kellicottia*, *Lecane*, *Notholca*, *Euchlanis*, *Asplanchna*, *Cephalodella* e *Lepadella*. Nei laghi Sero-doli e Tre Laghi è stata studiata la variazione percentuale dei tre gruppi zooplanctonici, basata sulle densità, ed è evidente che i rotiferi dominano la comunità in quasi tutti i campioni effettuati durante i due anni di studio, raggiungendo le percentuali più elevate nei mesi estivi. Le specie più rappresentative in entrambi i laghi sono *Kellicottia longispina* e *Polyarthra gr. vulgaris-dolichoptera*. La distribuzione verticale delle diverse specie lungo la



Kellicottia longispina



Il rotifero predatore *Asplanchna priodonta*

colonna d'acqua è un ulteriore elemento di estremo interesse che molto raramente è stato valutato per i laghi d'alta quota; sempre riferendosi al Lago Serodoli, è stato notato che in autunno alcune specie come *Kellicottia longispina* dominano gli strati d'acqua più superficiali (0-5 m) mentre altre, come *Asplanchna priodonta* e quelle del genere *Polyarthra*, sono presenti soprattutto a maggiori profondità (10-25 m). Molte delle specie riscontrate nei laghi alpini sono presenti anche nelle aree appenniniche d'alta quota; in uno studio condotto dall'Università di Parma sul Lago Scuro Parmense, il 65% delle specie zooplanctoniche è risultato costituito da rotiferi. In questo lago *Asplanchna priodonta*, forma predatrice presente in primavera ed estate, controlla la densità delle altre specie di rotiferi, microfiltratrici. Infatti le popolazioni di queste ultime (in particolare *Polyarthra* gr. *vulgaris-dolichoptera* e *Keratella cochlearis*) presentano un repentino aumento in numero alla fine dell'estate in coincidenza con la scomparsa del predatore.



Lago di Filetto (Abruzzo)

Cladoceri. Nella composizione delle biocenosi zooplanctoniche dei laghetti d'alta quota i cladoceri rappresentano in genere una percentuale variabile dal 25 al 30%, hanno un'ampia diffusione ed alcune specie prediligono questi ambienti per il loro sviluppo.

Questi microcrostacei, di dimensioni variabili da 0,2 a 3 mm, sono caratterizzati da due valve chitinee (carapace) che racchiudono gli arti (5 paia) e il postaddome. Solo il capo e due paia di antenne (il primo paio corto e con funzione sensoria, il secondo più lungo con funzione locomotoria) sono liberi dal carapace. Il margine ventrale del carapace è aperto e gli arti, dotati di lunghe setole ravvicinate, sono in continuo movimento e creano una corrente d'acqua che convoglia microrganismi (protozoi, alghe, batteri) verso la bocca. La maggior parte delle specie sono dunque filtratrici (fitofaghe o detritivore); quelle appartenenti ai generi *Leptodora*, *Polyphemus* e *Bythotrephes* sono predatrici di rotiferi o di altri cladoceri.

La riproduzione avviene di regola per partenogenesi, ma, come per i rotiferi, quando si presentano condizioni sfavorevoli allo sviluppo compaiono i maschi che fecondano le femmine, dando luogo ad una riproduzione di tipo anfigonico. Le uova durature così prodotte sono racchiuse in un ispessimento dorsale detto efippio che, in seguito ad una muta, si stacca dal corpo materno depositandosi sul substrato. Le uova durature rimangono quiescenti fino al ritorno di condizioni ambientali favorevoli. Le uova partenogenetiche (o subitane) si sviluppano invece molto velocemente all'interno della camera incubatrice situata nella zona dorsale sotto il carapace e lo sviluppo è diretto; i nuovi nati sono cioè simili agli adulti, sebbene di minori dimensioni. Come in tutti i crostacei, l'accrescimento comporta mute successive che avvengono molto rapidamente (l'individuo può essere maturo anche dopo 7-8 giorni dalla nascita), cosicché la ricolonizzazione del bacino è estremamente rapida.

La maggior parte delle specie rinvenute con maggior frequenza nei laghi d'alta quota presenta un'ampia valenza ecologica ed è presente anche a quote più basse (ad esempio *Chydorus sphaericus*, *Alona affinis*, *Acroperus harpae*). Poche specie possono invece ritenersi tipiche di ambienti montani. Tra queste *Daphnia middendorffiana*, a distribuzione oloartica, è stata trovata in Italia solamente in due stazioni (Lago di Antermoia sulle Dolomiti e Lago di Campo IV in Val Bognanco sulle Alpi Pennine), entrambe situate a quote superiori ai 2000 m. La specie esibisce un ciclo vitale caratteristico, in cui non compaiono maschi e le femmine producono direttamente uova diploidi racchiuse negli efippi; tale variazione rispetto alla norma può essere ricollegabile alle severe condizioni degli ambienti montani, che per poco tempo presentano condizioni favorevoli allo sviluppo e il risparmio di una generazione può aumentare la produzione di uova indispensabili per la ricolonizzazione successiva. Altre specie che presentano una distribuzione legata all'arco alpino sono *Streblocerus ser-*



Daphnia longispina longispina (Lago d'Antorno)



Daphnia longispina rectifrons (Lago di Valparola)

ricaudatus (rinvenuto in Italia sempre in laghi situati a quote superiori ai 1200 m, ma comune a quote più basse a Nord dell'arco alpino), *Holopedium gibberum* e *Daphnia zschokkei* (trovati sempre a quote superiori ai 1800 m).

Un discorso a parte merita *Daphnia longispina*, la specie del genere *Daphnia* più frequente nei laghetti d'alta quota sia alpini che appenninici, ma rinvenuta anche in numerosi altri ambienti a quote più basse; è attualmente in discussione la presenza di più sottospecie e *Daphnia longispina frigidolimnetica* sembrerebbe essere quella con distribuzione esclusiva negli ambienti montani al di sopra dei 1800 m; anche *Daphnia longispina rectifrons* è sporadicamente presente a quote elevate. Vista la frequente presenza di *Daphnia longispina* in questi ambienti estremi, sono numerosi gli studi atti a valutare l'andamento stagionale e la struttura delle popolazioni in alcuni laghi montani. Ad esempio nel Lago Paione Superiore in Val Bognanco (studiato dal CNR-ISE di Pallanza) con lo scioglimento del ghiaccio i pochi individui di *Daphnia longispina* schiusi dalle uova durature impiegano molta energia per la produzione di uova subitane; le piccole femmine che nascono da queste ultime cominciano a riprodursi molto velocemente per partenogenesi incrementando la popolazione. Quando la quantità di alimento disponibile diminuisce, la popolazione va incontro ad un decremento numerico; dalle uova subitane prodotte dalle poche femmine rimaste si sviluppano i maschi che consentono la produzione delle uova durature, indispensabili a garantire la sopravvivenza della specie sotto la copertura ghiacciata. La comparsa dei maschi ha la stessa periodi-

75
cità anche in ambiente appenninico, come verificato in alcuni studi condotti dall'Università di Parma sul Lago Scuro Parmense.

La distribuzione dei cladoceri nei laghi d'alta quota è fortemente influenzata dalla presenza di specie ittiche; nei bacini in cui si riscontrano pesci planctofagi (come il salmerino alpino, *Salvelinus alpinus*) la taxocenosi a cladoceri è costituita per lo più da specie di piccole dimensioni (*Chydorus sphaericus*, *Alona affinis*) mentre spariscono quelle di maggiori dimensioni (generi *Daphnia* e *Simocephalus*). Studi condotti prima e dopo l'immissione di fauna ittica in questi bacini hanno evidenziato una profonda modificazione della comunità a cladoceri, soprattutto nei laghi di dimensioni ridotte; nei bacini ad elevata profondità invece alcune specie come *Daphnia longispina* possono evitare di essere predate trovando rifugio negli strati d'acqua più profondi, in cui penetrano meno le radiazioni luminose ed è impossibile la predazione a vista.

Altri fattori negativi possono modificare la struttura delle popolazioni di cladoceri d'alta quota; tra queste ricordiamo l'acidificazione e l'intensità della radiazione UV. Secondo recenti studi, la progressiva diminuzione del pH delle acque dovuta all'incremento dell'inquinamento atmosferico porta alla scomparsa dei generi più sensibili, come *Daphnia*, e ad una netta diminuzione del numero delle specie di cladoceri nelle comunità zooplanctoniche. Anche il progressivo aumento dei raggi UV, causato dal rapido declino della concentrazione atmosferica di ozono verificatosi negli ultimi anni, si rivela un problema per questi organismi. L'adattamento dei cladoceri all'intensa radiazione UV che caratterizza gli ambienti d'alta quota si manifesta in alcune specie principalmente attraverso una più intensa pigmentazione protettiva del corpo dal bruno al rosso (un esempio tipico è dato da *Daphnia middendorffiana*, che possiede una colorazione, soprattutto degli efippi, molto scura), nonché con la migrazione verso gli strati d'acqua più profondi nelle stagioni in cui le radiazioni sono più intense. Le diverse specie di cladoceri esibiscono un diverso grado di tolleranza alle radiazioni UV; per questo motivo un loro aumento può modificare la struttura delle comunità, incidendo negativamente sulle specie più sensibili.



Acroperus harpae



Femmina ovigera (a sinistra) e maschio (a destra) di *Cyclops abyssorum taticus* (Lago di Braies)



Maschio di *Arctodiaptomus alpinus*

Copepodi. Pur rappresentando, in media, soltanto il 10-15% delle specie zooplanctoniche rinvenute negli studi sui laghetti d'alta quota italiani, i copepodi sono pressoché onnipresenti in questi ambienti e localmente abbondanti e alcune specie sono strettamente legate a questo habitat. Sono microcrostacei (dimensioni delle nostre specie da 0.3 a 5 mm) dotati di un solo occhio (a questa caratteristica si deve

il nome latino di uno dei generi più diffusi, *Cyclops*, dedicato ai mitologici ciclopi). Nello zooplancton sono tipicamente presenti due ordini (calanoidi e ciclopidi), mentre un terzo ordine (arpaticoidi) comprende forme tipicamente bentoniche. Il primo paio di antenne (antennule), molto allungato nei calanoidi, serve per il nuoto; il torace porta cinque paia di zampe, dalla cui conformazione deriva il nome copepodi (dal greco "piedi a remi"); l'addome termina in un organo bifido detto furca. La femmina porta una (calanoidi) o due (ciclopidi) sacche ovigere e dall'uovo nasce una larva (detta nauplio), molto diversa dall'adulto. Dopo alcune mute, il nauplio si trasforma in copepodite, una seconda forma larvale simile all'adulto che, dopo ulteriori mute, raggiunge la maturità sessuale. I maschi adulti si distinguono dalle femmine per una (calanoidi) o entrambe (ciclopidi) le antenne ingrossate e prensili, di cui si servono per afferrare la compagna durante l'accoppiamento; nei maschi dei calanoidi anche il quinto paio di zampe è modificato in organo prensile.

Le specie riscontrabili nei laghi d'alta quota si possono suddividere in due gruppi: un primo gruppo comprende specie occasionali, che denotano spiccate preferenze per i laghi posti a quote inferiori e solo accidentalmente raggiungono alcuni ambienti situati a quote più elevate; il secondo gruppo comprende invece specie regolarmente presenti negli ambienti oligotrofici o ultraoligotrofici delle alte quote. Circa la metà di queste specie è costituita da generalisti, presenti anche a quote più basse (soprattutto ciclopidi, quali *Eucyclops serrulatus* e *Acanthocyclops vernalis*); le restanti specie si possono invece considerare specie montane, ed i reperti a quote inferiori ai 1500 m s.l.m. sono solo eccezionali. In particolare sono elementi esclusivi dei laghi d'alta quota il calanoide *Arctodiaptomus alpinus* ed il ciclopoide *Cyclops abyssorum taticus*, che denotano una spiccata preferenza per i laghetti posti a quote superiori ai 2000 m, pur essendo presenti anche nel piano montano, nonché i calanoidi *Acanthodiaptomus denticornis*, *Mixodiaptomus taticus* (che predilige però gli stagni) e *Hetercope saliens*, che si incontrano più frequentemente nei laghetti del piano montano superiore e subalpino (1500-

Nel Lago di Pilato (Monte Vettore, Appennino Umbro-Marchigiano) vive un crostaceo che viene considerato una delle pochissime specie endemiche dei laghetti d'alta quota.

Si tratta di *Chirocephalus marchesonii*, descritto da Ruffo e Vesentini nel 1957, un crostaceo anostraco con il corpo di colore rosso corallo lungo da 9 a 12 mm. Le seconde antenne del maschio sono vistose e particolarmente allungate, mentre nella femmina si può osservare un sacco ovigero ovale, contenente uova più grandi rispetto a quelle di altri anostraci (0.4 mm).

Chirocephalus marchesonii vive esclusivamente nel piccolo Lago di Pilato, bacino situato a 1948 m s.l.m. e caratterizzato da acque limpide e fondale ciottoloso.

La specie ha un ciclo biologico tipicamente estivo che va normalmente da luglio a settembre. La riproduzione, che avviene per fecondazione interna, porta alla deposizione di uova durature (2-15 per covata) che attraversano

un periodo di stasi invernale sul fondo e sui bordi del lago completamente ghiacciato. In primavera, dopo lo scioglimento dei ghiacci, ha luogo la schiusa di una larva di piccole dimensioni denominata *nauplius* che, passando attraverso una serie di stadi di sviluppo, raggiunge quello di *juvenis* a partire dal quale inizia il differenziamento sessuale fino al raggiungimento dello stadio adulto.

L'alimentazione è costituita essenzialmente da altri organismi dello zooplancton e da detriti di origine animale e vegetale che vengono filtrati e trattiene dalle fini setole di cui sono provvisti gli arti toracici.

Nonostante *Chirocephalus marchesonii* viva in un biotopo protetto all'interno del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, la progressiva antropizzazione dovuta al turismo e gli attuali cambiamenti climatici potrebbero essere alla base di una reale minaccia di estinzione di questa eccezionale specie endemica italiana.



2000 m); solo *Heterocope saliens* è presente con regolarità, quale relitto glaciale, anche in alcuni laghi a quote più modeste, come il Lago Maggiore. In recenti studi condotti sui copepodi dei laghi d'alta quota delle alpi centro-orientali italiane, austriache e slovene, è stato evidenziato il ruolo delle dimensioni del bacino, delle condizioni trofiche, della temperatura, del pH e della conducibilità sulla distribuzione dei copepodi; tutti questi fattori sono positivamente correlati con la diversità del popolamento copepodologico. È stato inoltre notato che la ricchezza di specie

di copepodi è maggiore nei laghi su substrato carbonatico (dolomie e calcari, con conducibilità più elevata) rispetto a quelli in rocce granitiche e metamorfiche e che i laghi posti sul versante meridionale delle Alpi sono in genere più ricchi di specie di quelli localizzati su quello settentrionale. Una netta tendenza alla diminuzione del numero di specie si nota inoltre con l'altitudine e solo il 20% delle specie rinvenute è stato riscontrato oltre i 2500 m. Inoltre i laghi studiati presentano una ricchezza specifica superiore a quella di stagni e pozze temporanee, evidenziando l'influenza sulla diversità dei copepodi da parte delle dimensioni del corpo idrico e della stabilità delle condizioni idrologiche.

Delle specie di copepodi presenti nei laghi d'alta quota, in media solo 2-3 sono planctoniche. La combinazione più frequente di specie strettamente zooplanctoniche comprende un calanoide ed un ciclopoide, usualmente *Arctodiaptomus alpinus* o *Acanthodiaptomus denticornis* e *Cyclops abyssorum taticus*. Sono segnalate compresenze di più specie di calanoidi; la frequenza di questi casi però si riduce con l'aumentare della quota ed oltre i 2000 m, in condizioni ambientali più severe, è usualmente presente un'unica specie. Nei casi di coesistenza di specie filtratrici (come *Arctodiaptomus alpinus* e *Acanthodiaptomus denticornis*), queste possono evitare la competizione interspecifica realizzando una pressoché completa separazione temporale dei cicli riproduttivi. La separazione di nicchia tra queste due specie, ben studiata nei laghetti alpini, indica che *Arctodiaptomus alpinus* passa la maggior parte dello sviluppo post-embriale nell'ambiente pelagico, mentre allo stadio adulto frequenta gli strati più profondi prossimi al fondale; filtrando particelle di cibo in prossimità del fondo evita così la competizione diretta con *Acanthodiaptomus denticornis* durante il periodo riproduttivo. Entrambe le specie sono in genere univoltine e producono pressoché esclusivamente uova durature, sebbene possano produrre anche uova



Lago di Chiusetta (Val di Poia, Trentino Alto Adige)



Lago di Pilato (Monte Vettore, Appennino Umbro-Marchigiano) in inverno



Lago di Cima d'Asta (Trentino Alto Adige)

subitane ed essere bivoltine in condizioni ambientali meno severe. Questo fatto è spiegabile con la brevità del periodo in cui il lago d'alta quota presenta acque libere dai ghiacci, usualmente pochi mesi all'anno. Questo breve periodo favorevole per la disponibilità di nutrimento e le condizioni di temperatura deve essere utilizzato sia per lo sviluppo post-embrionale che per la riproduzione ed i calanoidi devono lottare contro il tempo per produrre una quantità di individui sufficiente a garantire la sopravvivenza della specie. Questo diviene ancor più problematico con l'aumentare della severità delle condizioni ambientali, dovute ad esempio alle crisi idriche estive e al diminuire del tenore di ossigeno disciolto. In condizioni ostili la formazione di una seconda generazione da uova subitane potrebbe essere considerata come un lusso pericoloso; da ciò deriva la tendenza all'univoltinismo e alla formazione delle sole uova durature. Per *Cyclops abyssorum taticus*, onnivora ma prevalentemente predatrice, non vi sono in genere competitori. Non è nota tuttavia per questa sottospecie la capacità di produrre uova durature; la riproduzione avviene durante lo scioglimento del ghiaccio e lo sviluppo post-embrionale in estate; lo stadio adulto è raggiunto in autunno (o anche prima a profondità maggiori) e permane per tutto l'inverno. Alle quote più elevate anche questa sottospecie tende ad essere monociclica. Per questa entità è stata dimostrata la capacità di accumulare micosporine, sostanze che la proteggono dagli effetti negativi della radiazione ultravioletta. Forse il più importante fattore, che attualmente incide negativamente sulla presenza di copepodi planctonici è l'introduzione di pesci, che normalmente esclude totalmente dai laghi d'alta quota i calanoidi e riduce drasticamente la presenza del solo ciclopoide euplanctonico, *Cyclops abyssorum taticus*, che può sfuggire la predazione solo nei laghi di maggiori dimensioni rifugiandosi negli strati d'acqua più profondi. L'introduzione ad opera dell'uomo di pesci in questi laghetti, agevolata oggi dalla disponibilità di mezzi di trasporto, porta pertanto alla pressochè totale scomparsa delle specie planctoniche di copepodi esclusive di questi ambienti. Sono varie le ragioni dell'alta vulnerabilità delle specie planctoniche tipiche delle quote più elevate all'introduzione di pesci; tra queste vanno annoverate principalmente la colorazione rosso brillante dei copepodi (interpretata come una protezione contro la radiazione UV), che li rende maggiormente visibili ai predatori, nonché la tendenza all'univoltinismo che rende queste popolazioni più vulnerabili di quelle che producono più generazioni all'anno.