

I Quaderni del Parco vogliono proporre all'attenzione del pubblico, il più vasto possibile, una serie di ricerche e lavori che contribuiscono ad arricchire la conoscenza del territorio e della realtà storica, ambientale ed economica del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino.

Il Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino è costituito da ambienti tipicamente montani ma nell'ambito dei suoi quasi 20000 ettari sono rappresentati luoghi magici tra i più vari: imponenti pareti di bianca dolomia, verticali dirupi di porfido scuro, curiose forme geologiche modellate da eventi di decine di milioni d'anni fa, valli impervie, forre scavate da impetuosi torrenti, aridi altipiani rocciosi e piccoli ghiacciai, dolci pascoli alpini e rotonde praterie fiorite, limpidi specchi d'acqua, testimoni di più imponenti e antichi ghiacciai, suggestive e secolari foreste che amplificano le voci della natura e dove non è favola l'incontro con la fauna del bosco.

Ma, ancora, vi sono altre e tante forme modellate dall'uomo, segni sul territorio di una storia poco lontana ma sempre affascinante, sentieri da percorrere, luoghi su cui soffermarsi, piccoli musei da visitare.

Questo parco è stato istituito nel 1967 e in oltre trent'anni di vita, lungo un continuo percorso di crescita, ha visto e continua a vedere un aumento dell'apprezzamento da parte del grande pubblico che viene a visitarlo.

Ma i progetti si sommano ai progetti, le idee alle idee aggiungendo sempre qualcosa di nuovo per condurre il visitatore a osservare e conoscere la natura e, soprattutto, a rispettarla.

### Della stessa collana:

La sezione di Primiero dell'Archivio Welsperg Il Parco nelle riviste del Museo Tridentino di Scienze Naturali Alberto Cosner (2003) Licheni del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino Juri Nascimbene e Giovanni Caniglia (2003) K.u.K. Werk Dossaccio –Storia di un forte corazzato di montagna Nicola Fontana (2004) Ungulati selvatici e foresta Roberta Berretti e Renzo Motta (2005) W.A.B.L. Epigrafia popolare alpina Quinto Antonelli (2006) I Chirotteri del Parco Paolo Paolucci e Miriell Martini (2006) Le farfalle del Parco Enrico Negrisolo e Filippo Calore (2008) Guida alla Geologia del Parco Francesco Bizzarini (2009) Metodi di rivegetazione in ambiente alpino Michele Scotton, Lisa Piccinin e Matteo Coraiola (2010) Giacomo Castelrotto e la signoria dei Welsperg in Valle di Primiero Lidia Bertagnolli (2011) Madonna delle Luce Luigi Oliva e Andrea Sarno (2012) Cambiamenti climatici: effetti sugli ambienti di alta montagna Erwin Filippi Gilli (2017) Ricerca, conservazione e gestione del gallo cedrone nel Parco Partel P. (a cura di) (2018)

**QUADERNI DEL PARCO 15** 

### **Renata Trevisan**

# Uno studio integrato dei Laghi di Colbricon e Cavallazza

Questo libro è dedicato a Giuseppe Morabito collega ed amico

### Autori e affiliazione

- Alberghini S., Cagnazzo A., Corich V., Donà C., Mozzo D., Squartini A., Vendramin E. Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE) dell'Università di Padova.
- Bari R. Consulente nutrizionale specializzata nell'alimentazione sostenibile presso l'Azienda Teatro del Gusto (Italy).
- Carcaillet C., Leys B. Centre for Bio-Archaeology and Ecology, Institut de Botanique, Montpellier, Francia.
- Carton A., Zanoner T. Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova.
- Decet F. ARPAV, Unità Operativa Chimica di Base, Belluno.
- Girardi G. Collaboratore Tecnico Professionale, ARPA Veneto.
- Lami A., Musazzi S. CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania.
- Miola A., Picarella M., Trevisan R. Dipartimento di Biologia, Università di Padova.
- Partel P., Volcan G. Ricerca scientifica e conservazione, Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino.
- Poggi C. Tecnico-Amministrativo, Università di Padova.
- Rosso A. Geologo e Ispettore Onorario MiBACT per la tutela delle acque Vicenza.
- Tonon A. Imprenditore in una società agricola biologica.
- Zannoni M. Docente di Matematica e Scienze presso Scuola Secondaria di Primo Grado.

Ente Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino info@parcopan.org www.parcopan.org

Ideazione grafica: Gianfranco Bettega

Coordinamento per il Parco: Roberto Vinante











Iniziativa finanziata dal Programma di Sviluppo Rurale per la Provincia Autonoma di Trento 2014-2020 Organismo responsabile dell'informazione: Ente Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino Autorità di gestione: Provincia Autonoma di Trento - Servizio Politiche Sviluppo Rurale Info e bandi: www.psr.provincia.tn.it

# **SOMMARIO**

Prefazione	7
ntroduzione	11
Capitolo I - Laghi alpini	13
Capitolo II - Aspetti geomorfologici Genesi delle conche	<b>19</b>
Capitolo III - Immersioni nei Laghi d'alta quota e macrofite 1° campagna d'immersione (30 settembre - 3 ottobre 1999) 2° campagna d'immersione (21-22 settembre 2018)	<b>29</b> 30 35
Capitolo IV - Laghi adiacenti: Lago Cavallazza e Terzo Lago di Colbricon	41
Capitolo V - Periodo di studio 1998-2016	49
Capitolo VI - Parametri abiotici Temperatura, livello idrico, trasparenza, periodo di gelo e disgelo Caratteristiche chimiche	<b>53</b> 54 57
Capitolo VII - Parametri biotici ndagine Microbiologica Comunità Microalgale dal 1998 al 2007 Comunità Zooplanctonica Comunità Macroinvertebrati Cenni sulla fauna vertebrata	<b>71</b> 78 94 117 125 132
Capitolo VIII - Sedimenti Sedimenti lacustri superficiali Sedimenti come archivio storico Paleolimnologia del Lago di Colbricon Inferiore Paleopalinologia	137 139 143 154 166
Conclusioni	181
Bibliografia	185

### Ringraziamenti

Si ringrazia sentitamente l'Ente Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino per aver accolto questo studio e fornito assistenza logistica per i campionamenti, il Direttore del Parco Dott. Ettore Sartori che ci ha stimolati e permesso di iniziare la ricerca; l'attuale Direttore Dott. Vittorio Ducoli che ci ha accompagnato sino ad oggi, il Responsabile del Settore tecnico "Ricerca scientifica e conservazione" Piergiovanni Partel che ci ha supportato per vent'anni, tutto il personale del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino in particolare: Elio Desilvestro, Maurizio Salvadori, Alberto Volcan e Gilberto Volcan.

Il presente lavoro è stato eseguito con il contributo del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino.

Gli autori sono inoltre grati al gestore del Rifugio dei Laghi di Colbricon per le informazioni e il supporto logistico cortesemente forniti e a Cristina Gadenz per aver permesso la pubblicazione di foto provenienti dall'ARCHIVIO GADENZ.

Inoltre i Dott. L. Cesarotto, M. Maritan, L. Masiero, M. Villani, dell'Università di Padova. I Dott. S. Zancan, S. Baldon, L. Stevanin, S. Ancona, D. Bicciato, E. Checuz, N. Cocchia, D. Coldepin, M. Fonti, P. Mantovani, T. Testolin, F. Verlato, E. Vitale, A. Zampieri, dell'Università di Padova che hanno con entusiasmo svolto la tesi sui Laghi di Colbricon.

Dott. R. Mosello, M. Rogora e P. Volta del CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania.

I Presidenti del Club Subacquei nuoto sub team Donaggio di Mestre e Centro Sub Venezia e i Sig.i A. Bigozzi (Club Donaggio di Mestre), G. Gasparini, A. Susannetti e A. Silvestrini (Centro Sub Venezia) che hanno partecipato attivamente alla ricerca; il secondo gruppo di subacquei: W. Cornolò, A. Giacomello, S. Bigarella, L. La Spina, F. Meneghello, M. dal Lago, N. Cristina (AMNI) con il cane da salvataggio Black. L'Ufficio Idrografico della Provincia autonoma di Trento.

## **PREFAZIONE**

### Nico Salmaso

Fondazione Edmund Mach, Istituto Agrario di S. Michele all'Adige

Prima o poi, questo libro sarebbe stato scritto. L'avevo intuito molto tempo prima che Renata Trevisan mi informasse della sua intenzione di raccogliere in un unico contributo la notevole mole di dati limnologici che nel tempo si era accumulata nel suo laboratorio e, attraverso le numerose collaborazioni attivate nel corso degli anni, in altri laboratori e istituti chiamati a coprire specifici campi di conoscenza. A questo riguardo, il volume segue una lunga tradizione di studi svolti nei laghi d'alta quota della catena alpina. Con alcune peculiarità, che rendono questo libro unico nel suo genere.

Nel corso degli ultimi dieci anni, nelle frequenti occasioni in cui abbiamo avuto modo di risentirci, non c'è stato momento in cui Renata non perdesse l'occasione per parlarmi dei "suoi" laghi, del progresso delle sue instancabili ricerche, e delle persone e ricercatori, gruppi e istituzioni che di volta in volta riusciva a coinvolgere nella sua contagiosa passione. Ma anche delle difficoltà legate all'impostazione di una ricerca basata essenzialmente sul contributo volontario di un gruppo di ricercatori accomunati da un'unica passione per la conoscenza di un ambiente alpino unico. Ecco, da qui possiamo partire per comprendere l'elevato contenuto di conoscenze di base che possono essere tratte dalla lettura dei vari capitoli. Con dati e informazioni che talvolta sono emersi da cassetti chiusi, e ivi conservati religiosamente, o tratti e riadattati con finalità divulgative da articoli scientifici di elevato spessore pubblicati su importanti riviste internazionali. Certo direte, un'impostazione molto diversa da quella "moderna" che vede l'attivazione di grandi gruppi di ricerca multidisciplinari sostenuti da finanziamenti pubblici (meglio se europei). Eppure, nel leggere i diversi contributi, emerge la netta sensazione che forse, nel panorama fortemente competitivo della ricerca, stiamo perdendo qualcosa per strada, quel filo che da secoli ha guidato intere generazioni di scienziati – ovvero l'esclusivo piacere della conoscenza, e il gusto per l'osservazione naturalistica, elementi che accomunano e legano i diversi capitoli di questo libro.

Il volume ha una netta impronta naturalistica, e a questo riguardo si caratterizza anche per una forte impostazione divulgativa. Le specie hanno cognome (genere) e nome (specie), e spesso sono associate a una chiara e attraente documentazione fotografica. I puristi dell'ecologia moderna forse troveranno un po' datata l'impostazione. Dimenticando però che la conoscenza della biodiversità, nelle sue forme, distribuzione ed ecologia, è basata sulla conoscenza degli organismi e delle loro caratteristiche, ovvero proprietà che contribuiscono a modellare e sostenere il funzionamento di base degli ecosistemi e i servizi ecosistemici ad essi connessi. La necessità del nuovo e innovativo a tutti i costi rischia di semplificare, invece di arricchirlo, lo studio della biodiversità, riducendo spesso le specie (ma anche ranghi tassonomici di maggiore livello) a mere unità tassonomiche operative (OTU). Questo libro ci ricorda che nello studio della biodiversità degli ambienti naturali gli approcci innovativi devono sempre essere guidati da una visione più ampia, che comprenda anche il supporto dei metodi più tradizionali, in grado di fornire una conoscenza più completa degli organismi, basata oltre che sulle caratteristiche genetiche (e genomiche in un prossimo futuro) anche sulla determinazione delle caratteristiche morfologiche, morfometriche ed ecologiche. Queste caratteristiche costituiscono tratti essenziali che rimangono spesso difficili da ottenere dall'analisi del genoma delle singole specie, ma che hanno un forte carattere ecologico e adattativo.

Basandosi sull'analisi delle caratteristiche fisiche, chimiche e di diversi gruppi biologici (comunità microbiche, fitoplancton e zooplancton, macroinvertebrati, pesci e anfibi), i risultati permettono di caratterizzare a partire dalle fondamenta le caratteristiche ecologiche di base dei Laghi di Colbricon. Le analisi effettuate in momenti diversi della storia recente dei laghi hanno permesso di associare precisi cambiamenti nella gestione del bacino imbrifero a precise modificazioni delle comunità microbiche dovute, per esempio, alla diversa gestione dei reflui prodotti dal vicino rifugio alpino. Apparentemente, modificazioni rilevanti non sono state invece documentate nella chimica delle acque e nelle comunità planctoniche. Per converso, le analisi stratigrafiche dei sedimenti hanno permesso di associare i rilevanti cambiamenti subiti dalla vegetazione che ricopriva il territorio circostante i Laghi di Colbricon alle forti variazioni climatiche del tardo Pleistocene e dell'Olocene. Questa finestra aperta sul lontano passato della regione alpina ci ricorda come i sistemi lacustri d'alta quota possano essere ampiamente considerati eccellenti testimoni del cambiamento climatico.

Con questo libro, ci troviamo di fronte ad un primo contributo sinottico finalizzato alla conoscenza integrata degli ecosistemi dei Laghi di Colbricon. Un ulteriore tassello nel grande puzzle della conoscenza scientifica degli ambienti alpini che gli scienziati sono chiamati a costruire. L'esperienza accumulata nel corso delle ricerche frutto di 20 anni di lavoro contribuirà

a fungere da ponte e ulteriore stimolo verso nuovi obiettivi e orizzonti di ricerca, sempre in pieno divenire e alimentati dallo sviluppo e applicazione delle nuove tecnologie finalizzate allo studio della biodiversità.



Questo Quaderno del Parco, il quindicesimo della serie, è dedicato ai risultati di una serie di studi ed indagini che da ormai un ventennio interessano un'area tra le più emblematiche e suggestive del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino: quella dei Laghi di Colbricon e del poco lontano Lago della Cavallazza.

Studiare i laghetti alpini ha in generale un grandissimo significato scientifico: solitamente poco disturbati dalle attività umane, questi specchi d'acqua ci raccontano molto, attraverso i loro sedimenti e le forme di vita che ospitano, della storia ecologica delle Alpi, dell'evoluzione del clima, della qualità complessiva dell'ambiente.

Nel caso dei Laghi di Colbricon e della Cavallazza i dati e le informazioni raccolti in particolare dalla Professoressa Renata Trevisan dell'Università di Padova e dagli altri ricercatori che hanno contribuito nel corso degli anni ad ampliare la nostra comprensione degli aspetti abiotici, delle componenti biotiche e dei caratteri dei sedimenti di questi specchi d'acqua si aggiungono e completano in qualche modo il mosaico interdisciplinare delle conoscenze relative a questi straordinari luoghi. La loro storia geologica, le tracce - tra le più importanti delle Alpi – del passaggio dell'uomo mesolitico, la fauna alpina che li popola, le tragiche vicende che li hanno visti protagonisti durante la prima guerra mondiale, fanno di questi specchi d'acqua i muti testimoni di vicende antiche che ci permettono di comprendere meglio il presente. A queste oggi, grazie a questo Quaderno e alle ricerche che lo hanno generato, si aggiunge una conoscenza più approfondita della storia biologica delle loro acque, che come si potrà constatare dalla lettura ci dicono molto di più di quanto si possa dedurre dal "semplice" meraviglioso colore che le caratterizzano.

Oggi i Laghi di Colbricon e della Cavallazza sono protetti dal Parco: tuttavia, pur avendo perso la loro antica funzione di ambiti di passaggio tra diverse vallate alpine, questi ambienti sono soggetti, proprio per la loro bellezza, ad altri e nuovi rischi, dati soprattutto da una frequentazione che in alcuni periodi dell'anno è sicuramente eccessiva. Insieme agli interventi che proprio in questo periodo il Parco sta effettuando per favorire un accesso più regolato a queste piccole gemme naturali, anche la pubblicazione di questo Quaderno può contribuire ad una maggiore coscienza collettiva dei valori che i laghi conservano.

### Vittorio Ducoli

**Ettore Sartori** 

Direttore del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino Direttore dal 1991 al 2010

## INTRODUZIONE

Lo scopo primario di questa pubblicazione è quello di fornire informazioni semplici e a tutti accessibili, ma dettagliate e aggiornate su: morfologia, planimetria e batimetria dei Laghi di Colbricon e dell'adiacente Lago Cavallazza, e la loro caratterizzazione limnologica.

"I due laghetti giacciono sul passo omonimo fra Paneveggio e San Martino di Castrozza, a circa 1920 m s.l.m., ai piedi del monte Cavallazza e di fronte al Colbricon, criniera alpestre celebre nella guerra del 1915-1918 per i combattimenti avvenuti fra Italiani ed Austriaci. Essi sono meta frequente dei villeggianti di Paneveggio, S. Martino di Castrozza e di valle di Fiemme. Vi si arriva da tre parti: da Paneveggio in un'ora e mezzo; da S. Martino nello stesso tempo, e da Passo di Rolle in tre quarti d'ora a piedi o a cavallo. Sul lago vi è una zattera e alla sponda un ristorante. Dalle rive dei due laghi si gode in lontananza la splendida vista della parete meridionale della Marmolada, e, più vicino, del Cimon della Pala. Le acque dei placidi laghetti furono consacrate dal sangue versato colà per la patria dai soldati d'Italia" (Felicetti, 1931; Schaumann, 1973) Figg. 1.1-1.2 da archivio storico Foto Gadenz.



Fig 1.1 Lago Colbricon Superiore e Cima Colbricon, anni Sessanta (foto archivio Gadenz).



Fig 1.2 I due Laghi di Colbricon, anni Sessanta (foto archivio Gadenz).

Il Passo di Colbricon costituisce lo spartiacque tra la Val Cismon (affluenti del Brenta) e Val Travignolo - Val di Fiemme (affluenti dell'Avisio, poi dell'Adige). Fin dal Mesolitico era l'unica via di comunicazione tra Paneveggio e San Martino-Primiero per i primitivi abitanti della zona, per i viaggiatori e per i cacciatori (ritrovamenti di insediamenti umani epipaleolitici riportati da Bagolini *et al.*, 1972). Lo stesso passo è stato utilizzato fino all'Ottocento come via percorsa da uomini, pellegrini, diretti all'Ospizio di San Martino e a quello di Paneveggio, armenti, vacche e tronchi di legname che venivano trascinati su per la Val Bonetta per essere poi fluitati verso la Val di Fiemme per sfuggire alle gabelle della dogana di Pontet (Melchiorre, 2016).

"I laghi del Colbricon e del Cavallazza si trovarono nell'ambito delle operazioni belliche proseguite per molti mesi dalla brigata Calabria. Il movimento dei reparti combattenti, i lavori di sterro per la costruzione di strade e di trinceramenti, i materiali di varia natura gettati nelle acque, i proiettili e le esplosioni, i combattimenti sanguinosi ed altri eventi guerreschi, hanno interrotto per molti mesi la tranquillità dei solitari bacini, determinando forse anche sensibili cambiamenti nella costituzione delle società lacustri" (Stella, 1931). La zona attorno ai Laghi di Colbricon è stata in pratica preservata e salvata dal degrado ambientale dalla scelta militare di utilizzare il varco del Rolle per la costruzione dell'importante valico stradale di Passo Rolle durante la prima Guerra Mondiale (Taufer, 2012).

# Capitolo l Laghi alpini

R. Trevisan

Le definizioni di lago sono tante: "ogni lago deve essere interpretato come un microcosmo, tanto dal lato fisico inteso nel senso più ampio, quanto dal lato biologico nel suo complesso" (Stella, 1931). Sul problema della loro salvaguardia Livia Tonolli (limnologa) negli anni '70 ha scritto: "ogni lago partecipa ad una problematica di carattere generale, perché coinvolge aspetti sociologici, etici, filosofici, psicologici della nostra esistenza e soprattutto di coloro che verranno dopo di noi. In sostanza si tratta di decidere su un punto di fondamentale importanza: che cosa intendiamo per benessere? Dalla risposta a questa domanda dipende l'avvenire dell'umanità".

I laghi sono considerati ambienti ideali per lo studio dell'ecologia (Odum, 1988; Margalef, 1983), in quanto possiedono confini definiti, uniformità orizzontale utile per il campionamento, elevata interazione tra individui, uguale competizione per i nutrienti e l'energia, ed organismi piccoli, con un breve ciclo di vita, che rispondono rapidamente ad un disturbo. Quest'ultimo aspetto risulta maggiormente evidente nei piccoli laghi d'alta quota, ambienti estremamente sensibili e labili, che reagiscono prontamente a perturbazioni ambientali anche di piccola entità (Psenner & Catalan, 1994) e sono alimentati per lo più dalla fusione delle nevi e dalle precipitazioni (Tonolli, 1964; Boggero *et al.*, 1996).

Dei circa 4000 laghi noti per l'intero arco alpino, 320 (esclusi quelli artificiali, temporanei e minuscoli) sono presenti nel piccolo territorio del Trentino (6300 km² di cui 35 km² sono laghi), detto anche "Finlandia d'Italia" e la fascia altimetrica maggiormente interessata alla loro presenza sembra essere quella compresa tra i 1500 e i 3000 m s.l.m. (Tomasi, 1962, 1963 e 2004). "High-mountain lakes" è sinonimo di "orizzonte alpino" per gli studiosi di fitosociologia; entrambi questi termini: laghi d'alta montagna e orizzonte alpino, indicano la zona del limite degli alberi nelle montagne di tutto il mondo. Anche i laghi "artici", nel senso di "compresi nel circolo artico", hanno caratteristiche molto simili. I laghi alpini sono ambienti estremi (basse temperature, basso contenuto di sostanza organica, alta radiazione solare, copertura con ghiaccio o neve anche per tre quarti dell'anno): essi costituiscono dei siti privilegiati di osservazione e documentazione dei cambiamenti climatici globali e sensibili indicatori dell'inquinamento atmosferico diffuso, del quale possono rivelare gli effetti prima di altri ecosistemi (Sommaruga-Wograth et al., 1997). Per quanto riguarda le comunità biotiche in essi presenti, la breve durata del periodo di clima favorevole alla crescita ed alla riproduzione, le condizioni di oligotrofia delle acque e l'elevata intensità delle radiazioni ultraviolette, richiedono adattamenti che solo particolari specie possiedono. Questa loro peculiarità ha recentemente aumentato l'attenzione di studiosi, chimici e limnologi, verso i laghi d'alta quota, sia a livello nazionale che europeo (Mosello et al., 1999; The MOLAR project chemistry group, 1999; Rogora et al., 2003; Hutchinson, 1967; Nauwerck, 1994; Koinig et al., 1998a, 1998b; Sommaruga-Wograth

et al., 2000; Rogora et al., 2003). La maggioranza dei laghi alpini mostra una bassa produttività essendo essi ambienti oligotrofici e la catena alimentare è più semplice rispetto ai laghi di fondo valle (Tolotti et al., 2006). Eccezioni si possono trovare in laghi con bassa profondità e in laghi che si trovano in zone di pascolo. Nonostante i numerosi progressi recenti, la conoscenza limnologica dei piccoli corpi lacustri d'alta quota rimane tuttora relativamente scarsa e frammentaria. Questa situazione deriva dalle difficoltà logistiche legate al raggiungimento e campionamento di tali ambienti, spesso posti in zone remote e impervie. I laghi alpini d'alta quota devono, in massima parte, la loro origine alla morfogenesi glaciale, che ha determinato la formazione di conche di sovraescavazione o sbarramenti morenici; i più frequenti sono i "laghi di circo", i quali spesso sono riuniti in gruppi e in sequenza altimetrica "a gradinata" (Barbanti et al., 1993). Si vedrà che non è il nostro caso. Secondo alcuni autori si possono definire laghi d'alta quota solo le raccolte d'acqua permanenti, nelle quali almeno gli strati più profondi sono sottratti all'influenza delle variazioni giornaliere di temperatura (Boscaini, 2006; Carton & Stoch, 2006).

I bacini lacustri d'alta quota, per quanto piccoli e relativamente semplici, sono estremamente labili e mutevoli (Hutchinson, 1967; Nauwerck, 1994). Per tali motivi essi sono stati descritti come "ecosistemi piccoli, fragili, ad alta individualità, isole di biodiversità immerse in un mare di terra" (Decet, 2007).

A questo tipo di bacini lacustri appartengono anche i noti Laghi di Colbricon Superiore ed Inferiore (d'ora in poi menzionati sempre come Lago CS e Lago CI), situati nel Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino,



Fig 1.3 Lago di Colbricon Superiore e Cima Cavallazza, anni Sessanta (foto archivio Gadenz).



Fig 1.4 Rifugio e Lago di Colbricon, anni Sessanta (foto archivio Gadenz).

tra San Martino di Castrozza e Passo Rolle, nel comune di Primiero San Martino di Castrozza (TN). I due laghi, immersi in un bellissimo paesaggio alpino, e prossimi ad un rifugio, attirano molti escursionisti soprattutto in estate. Il rifugio Laghi di Colbricon 1927 m s.l.m. attualmente è situato a sud est del Lago CS. I nonni dell'attuale gestore, Giuliana Piechele, lo gestivano anche quando era dall'altra parte del lago, nella riva di nord ovest. Durante la seconda guerra mondiale andò a fuoco e nel 1945 gli zii



Fig 1.5 Lago CS. Rifugio e vecchia barca, anni Sessanta (foto archivio Gadenz).

lo ricostruirono dove è ora (la veranda era il negozio dei nonni in paese, è stata smontata e traportata in loco). I lavori di ristrutturazione e messa a norma sono iniziati nell'autunno 1997 e sono stati completati nel 2007 (comunicazione personale G. Piechele) Figg. 1.3-1.4-1.5 da archivio storico Foto Gadenz.

L'impatto sui delicati equilibri dei laghi sarebbe stato drammatico se si fosse approvata la progettazione e l'attuazione di una funivia che avrebbe dovuto collegare gli impianti sciistici di San Martino con quelli di passo Rolle con l'attuazione di un pilastro portante sul versante del Monte Cavallazza sopra i laghi.

I lavori di carattere limnologico svolti fino ad oggi sui Laghi di Colbricon utili per le attuali ricerche sono i seguenti: studi sulle diatomee (Largaiolli, 1899), studi sullo zooplancton (Stella, 1931), i rapporti sui laghi del Trentino tra cui i Colbricon (ISMA, 1996, 1997 e 2000); inoltre esistono studi sulla chimica dell'acqua (Decet *et al.*, 1996; Giussani *et al.*, 1986), sui Chironomidi (Ferrarese, 1990), sui Calanoidi (Maiolini, 1992) e sugli Odonati (Mascagni & Terzani, 1983) rapporti sui Laghi del Trentino (Tomasi, 1963, 2004), studi sulle caratteristiche morfometriche e limnologiche (Trevisan & Rosso, 2001; Baldon *et al.*, 2001; Morabito & Trevisan, 2004; Morabito & Trevisan, 2006; Dazzo *et al.*, 2009; Trevisan & Zancan, 2000; Trevisan *et al.*, 2012; Trevisan *et al.*, 2014); e studi sulle comunità microbiche (Vendramin *et al.*, 1998; 2001a; 2001b; 2006; 2007).

Altri lavori a carattere generale sono riportati nei vari capitoli.

# Capitolo II Aspetti geomorfologici

A. Carton, R. Trevisan, T. Zanoner

Con il nome "Laghi di Colbricon", la toponomastica identifica due specchi d'acqua di piccole dimensioni ubicati nell'estremità nord orientale della catena dei Lagorai, sul versante settentrionale. In particolare sono noti con i nomi di Lago di Colbricon inferiore (1911 m s.l.m.) e Lago di Colbricon superiore (1926 m s.l.m.) (Fig. 2.1). Un terzo piccolo specchio d'acqua, privo di toponimo, di dimensioni variabili, è ubicato a quota 1921 m, poco più ad ovest del lago inferiore. Appartengono tutti al bacino idrografico del Torrente Travignolo (Avisio, Adige).

Sono definiti laghi d'alta quota in quanto situati al di sopra della "timberline" e perché rappresentano, per la limnologia (Steinbock, 1955), una raccolta d'acqua sufficientemente profonda e con una morfologia del bacino di alimentazione tale da permettere l'instaurarsi di una stratificazione termica estiva abbastanza forte da opporsi al rimescolamento indotto da fenomeni atmosferici avversi (Boscaini, 2006; Carton & Stoch, 2006).

Nelle ricerche limnologiche, importante è l'analisi morfologica dell'invaso e del suo bacino imbrifero (Håkanson, 1981). Le caratteristiche di quest'ultimo, in particolare la sua composizione litologica, determinano il chimismo di base delle acque e condizionano quasi tutti i parametri fisicochimici e biologici. Caratteristiche morfometriche, come volume, profondità media e massima e superficie del lago influenzano il contenuto massimo e minimo di calore; la forma influenza l'efficienza della distribuzione del calore negli strati profondi da parte del vento e quindi la quantità di energia interna che può essere immagazzinata o persa (Ambrosetti & Barbanti, 2002). Le caratteristiche morfologiche di un lago e del suo bacino

Fig. 2.1
Panoramica sul Passo di Colbricon.
In alto sulla sinistra il Lago Cavallazza, lago di circo insediato all'interno di una conca con "braccioli".
La sella in corrispondenza del passo del Colbricon appare ampia e svasata, ed è interpretabile come sella di transfluenza glaciale. È inoltre ben visibile l'incisione in corrispondenza del passo impostata lungo un motivo strutturale regionale (immagine elaborata da 3D RTE).

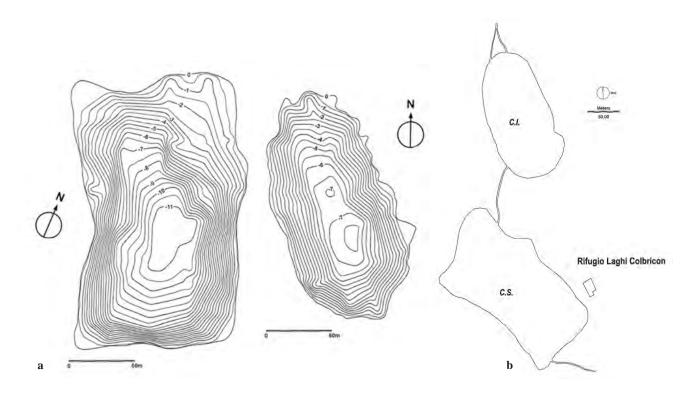


concorrono infine al grado di trofia, in quanto i nutrienti che pervengono al lago dal bacino imbrifero sono proporzionali alle dimensioni del bacino stesso e sono diluiti dal volume d'acqua del lago; per questo Schindler & Noven (1971) utilizzò il semplice rapporto bacino/volume lago come indice di stato trofico.

Dagli studi precedenti si può evincere che negli anni 60 del secolo scorso, al Lago CI veniva attribuita una superficie di 17000 m², una lunghezza di 150 m, larghezza di 80 m, e profondità massima di 1 m (Tomasi, 1963). Si ritiene che quest'ultimo valore non sia veritiero ma imputabile ad un errore di stampa. Lejs (2014) attribuisce allo stesso lago una superficie 13000 m² e una profondità di 8 m. Al Lago CS Tomasi (1963) assegna una superficie di 27000 m², una lunghezza di 275 m, una larghezza di 120 m e una profondità

**Tab. 1**Principali parametri morfometrici e limnologici dei Laghi di Colbricon (da Trevisan & Rosso, 2001).

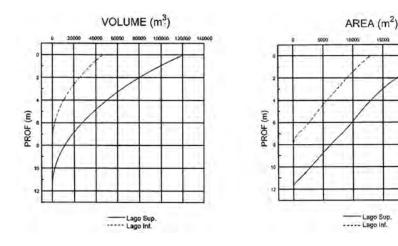
		CS		CI
Longitudine Est			11° 45' 59"	
Latitudine Nord			45° 16' 53"	
Altitudina max del bacino imbrifero	m s.l.m.		2322	
Altitudine del lago	m s.l.m.	1922		1910
Area del bacino imbrifero - B (incluso il lago)	Km <sup>2</sup>		0.361	
Area del lago - A	Km <sup>2</sup>	0.024		0.013
Lunghezza max - Lmax	m	216		176
Lunghezza media - Lm	m	208		170
Larghezza max - Bmax (perpendicolare a Lmax)	m	125		88
Larghezza A/L - Bm	m	114		68
Rapporto B/A dei due laghi			11	
Profondità massima - Dmax	m	12		8
Profondità media V/A - Dm	m	5.4		3.8
Profondità relativa - Dr=Dmax ·π <sup>1/2</sup> / 20·A <sup>1/2</sup>		7%		6%
Volume lago - V	Km <sup>3</sup>	0.127		0.049
Sinuosità - Dl		1.22		1.12
Perimetro - L	m	627.7		444.3
Sviluppo del volume - Dv		1.35		1.425
Indice di Trofia - B/V(CS+CI)			2.05	
Tempo teorico di rinnovo			5 mesi e mezzo	
Sequenza emissari	Rio Colbricon (s) ==> Torrente Travignolo (s) ==> Avisio (s) ==> Adige			
Cartografia utilizzata	IGM scala 1:50000 serie M. 792 Foglio 045 NL 32-6-b6 Foglio S. Martino di Castrozza scala 1:10000			
Copertura del bacino imbrifero	52% rocce con prateria alpina; 7,4% arbusti; 39,6% bosco misto di aghifoglie; 1% torbiera			
Gruppi litologici	rocce acide - porfidi quarziferi			
Rilievo geologico	rocce montonate			
rma subcircolari				



massima di 13 m. Misure effettuate su ortofoto e LiDAR (Light Detection and Ranging) del 2006 (realizzato dalla Provincia Autonoma di Trento tra il 2006-2008) danno una superficie di 12060 m² (perimetro 464 m) per il Lago CI, mentre per quello superiore una superficie di 22812 m² (perimetro 683 m). Un accurato studio morfometrico e batimetrico dei due laghi, fu effettuato nell'ottobre del 1999 (Trevisan & Rosso, 2001). I parametri rilevati sono raccolti nella tabella 2.1. La rappresentazione batimetrica (Fig. 2.2a), planimetrica (Fig. 2.2b) e la morfometria dei due laghi (Tab. 2.1) è stata studiata

Fig. 2.2a Mappa batimetrica Lago CS (a sinistra) e Lago CI (a destra).

Fig. 2.2b Planimetria (da Trevisan & Rosso, 2001).

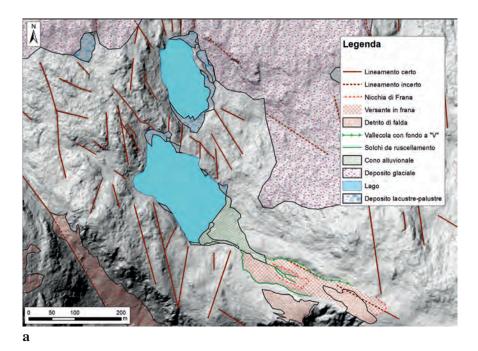


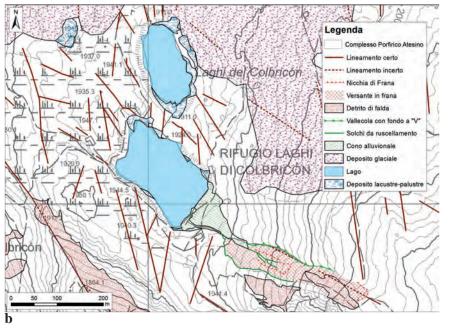


sulla base delle procedure riportate da Håkanson (1981) implementate con i parametri morfometrici proposti da Hutchinson (1957).

Dalla batimetria si evince che le depressioni assumono forma pseudo conica come evidenziato da Hutchinson (1957). Per la maggior parte dei bacini lacustri le curve ipsografiche delle aree e dei volumi (Fig. 2.3) mettono in relazione la produttività "morfologica" e quella "biologica" (Wetzel, 1983). La conoscenza dei parametri geometrici di un bacino risulta di estremo interesse per la comprensione delle dinamiche di un lago. I nutrienti, che "entrano" per precipitazione e dilavamento, sono diluiti in proporzione al volume del lago (Schindler & Noven, 1971). Sulla base di questo concetto si può considerare una produttività morfologica, (in base alla morfologia), e una produttività biologica (misurabile con i vari indici di trofia). L'indice di trofia "morfologica" di Schindler & Noven (1971) per i Laghi di Colbricon è di 2 (Tab. 2.1), che su una scala 0 - 4.5, si può considerare simile alla mesotrofia valutata con i classici indici (ISMA, 1996-1997-2000). La profondità relativa, rapporto tra profondità massima e diametro medio del lago, (Hutchinson, 1957; Håkanson, 1981; Catalan, 1988), è utilizzata per descrivere la stabilità alla stratificazione ed alla diluizione dei nutrienti risospesi dai sedimenti. I valori di 7% e 6% ottenuti rispettivamente per il Lago CS e per quello inferiore sono confrontabili con i valori tra 7% e 3% di molti laghi oligotrofi spagnoli (Catalan, 1988).

I bacini sono alimentati dalle precipitazioni meteoriche, dalla fusione della neve, ma soprattutto dalle acque di una sorgente ubicata nei pressi del Rifugio Laghi di Colbricon immediatamente a sud est del Lago CS. In particolare quest'ultimo riceve l'alimentazione da un cortissimo immissario che attualmente si genera come troppo pieno della captazione della sorgente utilizzata per l'approvvigionamento idrico del rifugio. Il Lago CI viene alimentato da un altro breve ruscello che si genera come "sfioratore" sul lato settentrionale del Lago CS, da un effimero rivolo proveniente da est, ma riceve anche alimentazione sublacustre in più punti, come anche segnalato in Trevisan et al., (2010), nel settore sud occidentale attraverso una serie di fratture ad andamento nord sud (indicati in carta geomorfologica in Figg. 2.4a-2.4b come lineamenti certi) e presenti nel versante roccioso che lo separa dal lago superiore. Dal Lago CI si origina un emissario (Rio di Colbricon) che drena il sistema dei due laghi nel torrente Travignolo. Apparentemente isolato da qualsiasi reticolo idrografico epigeo ed ipogeo è il terzo piccolo lago; ha una superficie stimata in 1606 m<sup>2</sup>, un perimetro di 184 m (da ortofoto 2006), e profondità intorno al metro (stima Trevisan 27/05/2016). Non si esclude che la sua alimentazione possa essere in relazione con il Lago CS attraverso alcune fratture ad andamento sud est - nord ovest (Figg. 2.4a-2.4b), anche se significativa è la distanza che li separa. La notevole variabilità di dimensione che lo contraddistingue stagionalmente, porta a pensare





Figg. 2.4a, 2.4b
Carta geomorfologica dell'area circostante i Laghi di Colbricon, a) su base topografica, b) su base LIDAR.
Questa seconda immagine mette maggiormente in evidenza l'intensa fratturazione del substrato.

che la sua alimentazione sia da mettere prevalentemente in relazione con la fusione della neve, visto che nella tarda primavera il lago occupa completamente o quasi la depressione che lo ospita, mentre in estate avanzata buona parte del settore settentrionale diventa paludoso per abbassamento del livello delle acque. La sorgente che alimenta il Lago CS, a regime

Figg. 2.5
Lago CI. La scarpata vegetata lo separa da Lago CS e risulta interessata da numerose fratture ad andamento NS che alimentano sorgenti sublacustri.



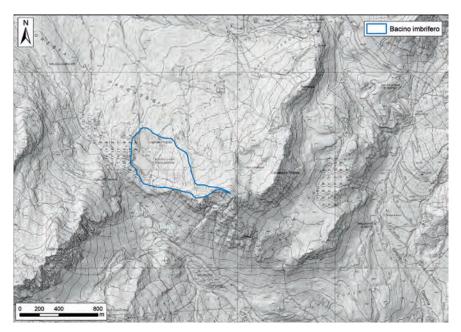


Fig. 2.6 Immagine Lidar dell'area circostante i Laghi di Colbricon alla quale è stata sovrapposta la Carta Tecnica provinciale. È rappresentato l'esiguo bacino imbrifero, non certo sufficiente a raccogliere le acque che alimentano i Laghi di Colbricon.

perenne (Trevisan *et al.*, 2010), è con tutta probabilità collegata ad un acquifero delimitato da un bacino idrogeologico ben più ampio di quello geografico (Fig. 2.6) ed evidenziato anche in Trevisan *et al.* (2014). Tale acquifero, da una sommaria valutazione, potrebbe essere rappresentato dall'intero massiccio del Monte Cavallazza ed essere considerato un acquifero permeabile per fessurazione lungo piani diversamente orientati.

### Genesi delle conche

Le sedi dei laghi sono completamente scolpite nel Complesso porfirico Atesino presente nell'intera catena dei Lagorai. Tale formazione geologica, ove non coperta da deboli spessori di suolo pedogenizzato, affiora diffusamente all'intorno dei laghi, modellata in vistosi dossi montonati (Fig. 2.7). I laghi sono collocati su un'ampia superficie (1930/1940 m s.l.m.) poco inclinata corrispondente al fianco nord orientale di un'ampia insellatura (Fig. 2.1), che abbassa in questo punto il profilo della catena tra il Monte Cavallazza ed il Monte Colbricon di alcune centinaia di metri. Questo "basso topografico" si è sviluppato in corrispondenza di un importante motivo strutturale regionale, una faglia diretta (Leonardi, 1967) ad andamento nord ovest-sud est, morfologicamente evidenziato dall'allineamento della Val Bonetta con la valle (priva di toponimo) in cui è ubicata la Malga Colbricon. A questo sistema se ne incrocia un secondo a direzione più o meno nord sud, lungo il quale sono parzialmente impostati i due principali laghi. L'ampia insellatura, con profilo parabolico ampio e svasato, è riconducibile ad una sella di transfluenza glaciale occupata dai ghiacciai durante il Last Glacial Maximun (LGM). Il flusso della coltre glaciale la attraversava da nord ovest verso sud est, come suggerisce il reticolo orografico, comprovato anche da alcune intaccature semilunate (crescentic gouges) (Fig. 2.7) scolpite su rocce montonate sul lato nord orientale del Lago CI. Diversamente da quanto indicato in Tomasi (1963) ed autori successivi, si ritiene che la genesi delle conche che ospitano le acque dei due laghi non sia di origine glaciale (laghi di circo) ma abbia una dominante influenza strutturale. È netta infatti la differente forma esistente tra i due Laghi di Colbricon ed il vicino Lago Cavallazza. Quest'ultimo infatti, come tutti i laghi sicuramente di circo, è di forma semicircolare, è circondato sui



Fig. 2.7
Sponda sud occidentale e nord occidentale del Lago CS. È evidente la rettilineità delle scarpate che lo marginano, imponendo al lago una forma estremamente geometrica.



Fig. 2.8
Dosso montonato sul quale sono scolpite intaccature semilunate, che indicano il senso di scorrimento dell'antico ghiacciaio.

fianchi ed sul retro da pareti rocciose. Sul davanti è presente una soglia in roccia in debole contropendenza, smussata e responsabile dello sbarramento. Si tratta quindi di un lago ubicato all'interno di una "poltrona con braccioli" in roccia, classificabile come circo glaciale (Fig. 2.1).

Il Lago CS è molto geometrico (Figg. 2.2-2.3-2.7), assume la forma di un rettangolo, con tre delle quattro sponde scolpite in roccia. Solo quella sud occidentale confina con l'unghia basale di un cono alluvionale. I due lati lunghi e quello nord occidentale coincidono con la direzione di alcune delle numerose fratture presenti in zona rappresentate (quelle principali) nella carta geomorfologica (Figg. 2.4a-2.4b). Inoltre evidenti scarpate rettilinee (Fig. 2.9), con chiara influenza strutturale fiancheggiano sia pur in modo discontinuo lo specchio lacustre. Il Lago CI presenta una forma ellissoidica con asse maggiore sviluppato in direzione nord sud, lungo una delle fratture di analoga direzione. In una delle carte geologiche a piccola scala, a corredo della monografia di Leonardi (1967), il Lago CI è ubicato proprio in corrispondenza di una di queste. Lo stesso suo emissario, ad andamento rettilineo, ne traccia il percorso.

Le due conche si possono quindi essere formate all'interno di un campo di fratture, qui numerose e diversamente orientate (Fig. 2.10), che hanno dislocato in blocchi e depressioni, il Complesso porfirico Atesino, successivamente esarato dal passaggio del ghiaccio. I prodotti della degradazione dei porfidi (sabbie limi e argille) convogliati all'interno delle depressioni per ruscellamento, possono aver impermeabilizzato le conche rendendole idonee alla raccolta di acqua. Le soglie in roccia che marginano verso valle i due laghi appaiono ancora abbastanza "geometriche" e non assomigliano alle soglie dei circhi glaciali, di solito scarsamente pronunciate. A favore dell'origine tettonica potrebbe essere anche la profondità (9 e 14 metri) abbastanza rilevante per essere ascritta ad erosione glaciale (sovraescavazione) in depressioni di così piccola entità. Lo stesso Lago Cavallazza, sicuramente di circo, è meno profondo. Manca infine una morfologia di contorno



Fig. 2.9
Lago CS. Particolare di una scarpata generata lungo una delle fratture responsabili della genesi della conca.



Fig. 2.10
Complesso campo di fratture a diversa direzione, evidenti e concentrate su una superficie montonata.
Tale intreccio, diffusamente presente, interessa l'intera zona ed ha dislocato in modo differenziato diversi blocchi del substrato.

sul versante nord orientale del Monte Cavallazza che possa richiamare la presenza di un circo glaciale; mancano nicchia e "braccioli", indispensabili per ospitare il ghiacciaio di circo che avrebbe dovuto sovraescavare la conca. In definitiva si può dire che i due Laghi di Colbricon sono impostati su un "disegno strutturale", rimodellato da successivi processi glaciali. Il terzo, e più piccolo lago, appare quasi per nulla interessato dal campo di fratture (cfr. carta geomorfologica di Fig. 2.4a e immagine LiDAR Fig. 2.6); verso valle è a ridosso di depositi glaciali. Per questo la depressione che lo ospita è molto meno profonda delle altre due e potrebbe sfruttare solo una debole ondulazione di esarazione del substrato attualmente parzialmente riempita da detriti fini convogliati per ruscellamento.

La ancora attuale esistenza dei laghi con significativa batimetria, è spiegabile per il bassissimo tasso di interrimento dovuto ad una scarsa produzione di materiale detritico sui versanti a monte.

# Capitolo III Immersioni nei Laghi d'alta quota e macrofite

R. Trevisan, A. Rosso

## 1° campagna d'immersione (30 settembre - 3 ottobre 1999)

Nel 1999 è stata effettuata una campagna scientifica finalizzata alla raccolta dei dati per la costruzione della carta batimetrica dei Laghi di Colbricon ed alla documentazione video fotografica dei due laghi<sup>1</sup>. Nei giorni 21-22 settembre 2018 è stata effettuata una seconda serie di immersioni finalizzate alla documentazione della flora e del fondale dei due laghi<sup>2</sup>.

Ora, effettuare immersioni è così normale che non varrebbe la pena di parlarne se non per il fatto che un'immersione in alta quota non corrisponde ad un'immersione in mare. Un'immersione in un lago, in una condotta allagata di una grotta o in un fiume situati a un'altezza superiore a 700 m s.l.m., (Dardanelli, 2005), richiede procedure particolari a causa degli effetti che l'altitudine produce sul corpo umano immerso.

Per tale ragione, dovendosi immergere con autorespiratori ad aria è necessario calcolare una curva d'immersione diversa da quella che si userebbe al livello del mare.

### Differenze tra immersioni in mare e in montagna

I fattori che hanno maggiore rilevanza ai fini della sicurezza e che differenziano un'immersione in quota rispetto a un'analoga a livello del mare sono tre:

a) la minor pressione atmosferica. Il valore della pressione atmosferica è il peso della colonna d'aria che grava sull'unità di superficie terrestre ed è di norma misurata in ettopascal (hPa) che ha sostituito in meteorologia il millibar (mbar) del quale ha, peraltro, identico valore assoluto. Per le immersioni, i subacquei usano anche l'atmosfera standard e i millimetri di mercurio. La pressione dell'atmosfera diminuisce man mano che si sale in altitudine e i valori di pressione, in funzione dell'altezza, si rilevano da specifiche tabelle calcolate teoricamente. Per tale ragione è buona norma controllare la pressione, sul posto, con un buon barometro, in quanto la variazione delle condizioni meteorologiche locali può determinare escursioni della colonna di mercurio anche di +/- 30 mm (Galfetti, 1999). Per questo motivo un'immersione in quota avviene sempre con una pressione ambientale minore

Il gruppo di subacquei era composto da quattro istruttori: A. Bigozzi (Club sub Donaggio - Venezia Mestre), G. Gasparini, A. Susannetti, A. Silvestrini (Centro Sub Venezia)

Il gruppo di subacquei era composto dagli istruttori PADI, W. Cornolò, responsabile tecnico, A. Giacomello, S. Bigarella, L. La Spina, F. Meneghello, con l'assistenza di M. dal Lago e N. Cristina (AMNI) con il cane da salvataggio Black. L'organizzazione è stata curata dal club subacqueo A.D.S. Dimensione Blu di Cavazzale, Vicenza e dal Nucleo Speciale del Gruppo Protezione Civile AMNI, Regione Veneto.

- di un'analoga immersione in mare ed è il principale fattore che la contraddistingue;
- b) l'acqua dolce. L'acqua marina e l'acqua dolce presentano notevoli differenze, ma particolarmente rilevante per un subacqueo è la differente densità che va a incidere sull'assetto d'immersione poiché la spinta idrostatica, che diminuisce con il diminuire della salinità, comporta, a parità di vestizione, meno zavorra;
- c) la bassa temperatura. La temperatura dell'acqua nei laghi alpini è generalmente più bassa di quella del mare e, anche nei mesi più caldi, raramente supera il valore di 10-12 °C. I laghi, soprattutto quelli con profondità relativamente basse, sono omeotermi perché il vento, agendo sulla superficie, dove l'acqua è più calda e meno densa, tende a rimescolare i diversi strati termici. Quando questo rimescolamento non avviene, specialmente nei laghi più profondi, si formano livelli nettamente differenziati con elevati salti di temperatura (termoclini), soprattutto in estate. Per tale ragione, durante l'immersione, tutto il corpo è esposto alla dispersione di calore dovuta alla grande conducibilità termica dell'acqua e il subacqueo deve avere sempre una muta appropriata e attrezzature idonee a operare in acque fredde.

Per le immersioni al di sotto dei 10°C, è buona norma aumentare in modo fittizio la profondità in modo da contrapporre, al maggior assorbimento di azoto da parte dei tessuti e all'aumentato consumo d'aria, una decompressione più lunga oppure una riduzione dei tempi di permanenza sul fondo. Infine, essendo la pressione di un gas proporzionale alla sua temperatura, una bassa temperatura provoca la diminuzione della pressione dell'aria contenuta nelle bombole con conseguente riduzione di autonomia.

### Effetti della pressione e dell'azoto sul corpo umano

Il corpo umano respira aria atmosferica e, normalmente, è saturo di ogni singolo gas contenuto nell'aria. Tuttavia, a differenza dell'ossigeno e dell'anidride carbonica che sono metabolizzati, l'azoto, in gran parte sciolto nei tessuti ricchi di grasso, non è utilizzato in alcun modo. In condizioni normali, questo non crea alcun problema. Durante un'immersione, invece, per effetto della pressione esterna, l'azoto passa in soluzione, saturando prima il sangue e i tessuti molto vascolarizzati, poi via via gli altri. Quanto più profonda è l'immersione e quanto maggiore è la sua durata, tanto maggiore è la quantità di azoto che passa in soluzione. Nella risalita avviene il fenomeno inverso e le molecole entrate in soluzione nel corso dell'immersione, tornano in fase gassosa, con una velocità proporzionale alla diminuzione della pressione esterna. Se questo fenomeno avviene in modo troppo rapido, si formano bolle che possono creare l'insorgere di gravi problemi (embolia o malattia da decompressione). Per ridurre tali incidenti, le pro-

cedure d'immersione prevedono di risalire secondo protocolli ben definiti, indicati in tabelle di decompressione regolarmente aggiornate (FIPSAS, 2017) e calcolate per avere al livello del mare una graduale completa desaturazione del sub all'uscita dall'acqua. Poiché la pressione in quota è sempre minore della pressione a livello del mare, usando le tabelle così come sono, non si riuscirebbe a riportare in equilibrio con l'ambiente esterno l'azoto disciolto nel sangue.

In pratica, a parità di tempo trascorso dal momento in cui il subacqueo abbandona la superficie al momento in cui si stacca dal fondo per iniziare la risalita diretta in superficie o alla prima tappa di decompressione (tempo di fondo), è come se l'azoto accumulato durante un'immersione in quota, equivalesse all'azoto assunto in una immersione, eseguita in mare, ad una profondità maggiore. Per tale ragione è necessario calcolare una profondità fittizia, maggiore di quella reale, con la quale andare nella tabella di decompressione al fine di conoscere quale curva di risalita usare per avere una corretta fuoriuscita dell'azoto dai tessuti e compensare la minor pressione esterna. Per la stessa ragione, quando ci si trasferisce in quota con una certa rapidità, il corpo umano si ritrova, all'arrivo, senza accorgersene, in condizioni di sovrasaturazione e dovranno passare almeno 48 ore prima di ritornare in equilibrio.

### Programmare un'immersione

Un'immersione in quota, che si tratti di un'uscita sportiva o di una campagna scientifica, richiede di tener presenti e soddisfare anche i seguenti punti (FIPSAS, 1999):

- 1) studiare il luogo preso in considerazione e il percorso di avvicinamento su una carta topografica che abbia le curve altimetriche, soprattutto se il punto d'immersione è disagiato. Avere una buona carta e una bussola può risultare utile in caso di nebbia o maltempo;
- informarsi preventivamente sulla praticabilità delle strade di accesso. In caso di avvicinamenti faticosi o disagevoli, regolarsi di conseguenza. Utile affrontare il tragitto con il materiale caricato sulle spalle: il trasporto risulta più agevole;
- effettuare un sopralluogo preventivo per individuare il punto migliore d'ingresso in acqua, il luogo più idoneo per la vestizione e la svestizione in funzione delle condizioni meteo, le eventuali strutture ricettive, gli ostacoli o i problemi legati a divieti di vario genere;
- 4) portare, in aggiunta alle altre attrezzature, un buon barometro ed informarsi preventivamente sulle condizioni meteorologiche che possono variare molto rapidamente;
- 5) tenere disponibili i numeri utili per le operazioni di emergenza. Allertare la camera iperbarica più vicina ed avvertire i responsabili delle associa-

- zioni coinvolte, le autorità locali e gli enti preposti. Utilissimo il cellulare, previa verifica della copertura e della potenza del segnale nell'area d'immersione;
- 6) affrontare l'immersione solo dopo un adeguato riposo in rapporto agli sforzi eseguiti per il trasporto dell'attrezzatura e prevedere un'assistenza in superficie anche quando non si ha un natante a disposizione;
- 7) portare il kit di primo soccorso per le immersioni ed una cassetta di pronto soccorso: gli incidenti potrebbero derivare non solo dall'immersione;
- 8) prevedere adeguati indumenti asciutti di ricambio, necessari alla fine dell'immersione per riportare il calore corporeo a condizioni normali il più velocemente possibile. Portare ed assumere cibi ricchi di proteine e di zuccheri, per reintegrare il loro consumo in immersione; bere liquidi per l'idratazione corporea ma evitare caffè e thè perché diuretici;
- 9) stabilire, a priori, specifiche regole comportamentali e scegliere la muta e l'attrezzatura adeguata alla temperatura del luogo. Prevedere le luci di illuminazione più idonee per il tipo d'immersione ed un controllo a secco del corretto funzionamento degli strumenti e dei materiali;
- 10) prevedere piani d'emergenza e varie alternative al programma d'immersione, in funzione di situazioni ambientali (freddo, visibilità, orientamento), di problemi fisici o di altre complicazioni che possano verificarsi. In ogni caso non immergersi con nebbia, nuvole basse o con condizioni meteo di dubbia interpretazione: ci si potrebbe trovare alla riemersione con condizioni proibitive per il rientro;
- 11) avere con sé compagni di provata esperienza con cui condividere la fase di programmazione e concordare le segnalazioni necessarie;
- 12) essere costantemente vigili durante l'immersione, per cogliere eventuali sintomi di ipotermia sia su di sé, che su un compagno ed interrompere l'immersione appena ci si accorge di avvertire brividi (riduzione della capacità di concentrazione e graduale perdita della manualità);
- 13) valutare preventivamente lo stato di salute dei partecipanti e gli sforzi operativi che si andranno a compiere. Essere in buone condizioni fisiche generali è condizione necessaria per svolgere qualsiasi attività subacquea, in particolar modo se questa avviene in quota. Evitare sforzi pesanti.

### Calcolo del piano di immersione

Al momento di un'immersione in altitudine l'organismo umano può trovarsi nelle seguenti due situazioni:

- a) organismo saturo poiché è stato completato il periodo cosiddetto di "acclimatamento" di 48 ore prima dell'immersione;
- b) organismo sovrasaturo perché non ha eseguito o completato, dopo

l'arrivo in quota, il periodo di acclimatamento. In questo caso è come se il corpo umano si trovasse nella situazione di aver appena compiuto un'immersione a bassa profondità ma con interessamento di tutti i tessuti.

Per queste due situazioni ci sono differenti protocolli d'immersione e i valori da applicare nei calcoli possono essere rilevati sia da specifiche tabelle per le immersioni in altitudine (Galfetti, 1999) oppure utilizzando le tabelle per le immersioni al livello del mare rapportandole alla pressione rilevata in quota e utilizzando il valore più conservativo senza fare calcoli intermedi. Un aiuto è dato dai computer subacquei che prevedono programmi per queste immersioni e che, in base al loro algoritmo, danno indicazioni, in tempo reale, sull'assorbimento di azoto nei tessuti e informano il sub di ogni parametro utile all'immersione tra cui un'eventuale eccessiva velocità nella risalita o il superamento della curva di sicurezza (Fig. 3.2). In quest'ultimo caso, fornisce i nuovi dati riguardanti la decompressione. Con l'evoluzione tecnica avvenuta negli anni, attualmente la gran parte dei subacquei utilizza soltanto il computer subacqueo a cui fa gestire l'immersione senza effettuare alcun calcolo preliminare. La tecnica lo consente, ma una corretta programmazione richiede, soprattutto in campagne scientifiche, il calcolo di almeno un piano d'immersione preventivo di sicurezza.

### Le immersioni nei Laghi di Colbricon

Prima di eseguire il calcolo dei piani d'immersione per i singoli laghi, è stato anche definito un piano di lavoro che avesse precise sequenze operative. In tal modo si è riusciti a concentrare le immersioni nei giorni 1 e 2 ottobre, compiendo una sola immersione giornaliera, restando sempre all'interno della curva di sicurezza e non al suo limite, raggiungendo la profondità massima nella prima parte dell'immersione ed evitando il più possibile continui saliscendi.

Si è anche deciso di semplificare i calcoli considerando una quota unica, pari a 2000 m s.l.m. (Passo di Rolle 1989 m s.l.m.; Lago CS 1922 m s.l.m. Lago CI 1910 m s.l.m.), con una pressione di 0,8 atm, effettuando la verifica dei calcoli stimati con il valore della pressione rilevato da un barometro prima dell'immersione e scegliendo il piano d'immersione più conservativo.

L'immersione nel Lago CS (1 ottobre), profondità massima di 12 metri e temperatura dell'acqua di 10°C, prevedeva una permanenza reale sul fondo di 30 minuti. Poiché il tempo di acclimatazione in quota dei sub era inferiore a 48 ore, si è reso necessario calcolare, nel piano d'immersione, il tempo di maggiorazione per compensare la sovrasaturazione. Al termine dei calcoli l'immersione nel Lago CS è risultata equivalente ad una immersione di 80 minuti alla profondità di 15 metri eseguita al livello del

mare. Non essendo, tuttavia, richiesta, in tabella, per tale coppia di valori, nessuna tappa di decompressione, sono state ricalcolate solo le velocità di risalita e la sosta di sicurezza prevista nei protocolli, prendendo nota, al termine dell'immersione del gruppo di azoto residuo di appartenenza da utilizzare nella immersione successiva. Analoghi calcoli sono stati eseguiti per l'immersione al Lago CI (2 ottobre), eseguita alla profondità massima di 8 metri ed una temperatura di 10°C, con una permanenza sul fondo di 30 minuti. Anche in questo caso, pur tenendo conto del tempo di superficie e del salto di quota da Paneveggio al Passo (atm 0,85/08=1,1) non vi è stata necessità di avere tappe di decompressione.

Dagli esami compiuti in immersione, il fondo dei due laghi è risultato completamente ricoperto da uno spesso strato di limi, "limo finissimo di colore rossastro" come già riportato da Stella (1931) (Figg. 3.1-3.3). Il video subacqueo ne ha confermato e documentato uno spessore di almeno 30 centimetri.

## 2° campagna d'immersione (21-22 settembre 2018)

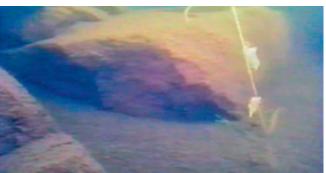
Dopo il trasferimento in quota ed il trasporto dei materiali, il 22 settembre si sono realizzate due serie di immersioni, una al Lago CS ed una al Lago CI, finalizzate alla documentazione video fotografica della flora e del fondale in modo da poter comparare tale situazione rispetto al 1999. In questa 2° campagna, rispetto alla prima, si è fatto uso unicamente di computer subacquei, in quanto ritenuti essere in grado di applicare una corretta gestione dell'immersione ottimizzando i tempi e rendendo l'immersione più lunga e più sicura (i subacquei in ogni caso hanno adottato un comportamento prudente e sicuro rimanendo ben entro i limiti dati dagli strumenti utilizzati) (Figg. 3.2-3.9)

Tutti i subacquei (2) avevano un proprio computer abilitato con l'idoneità ad effettuare immersioni in altitudine di cui conoscevano bene l'utilizzo e

Fig 3.1 1999 Fondale limoso e macrofite sommerse nel Lago CI (foto A. Bigozzi).

Fig 3.3
1999 Grande masso nel fondale e vegetazione nel Lago CS (foto A. Bigozzi).





le varie funzioni. In ogni caso anche con i computer è necessario seguire un preciso protocollo di utilizzo. Poiché i computer abilitati, oltre alla pressione dell'acqua rilevano anche la pressione atmosferica per poter eseguire con correttezza i calcoli, è necessario accendere i computer fin dalla partenza e tenerli costantemente indossati, prima, durante e dopo le immersioni. In questo modo, quando il subacqueo cambia livello di quota, con conseguente variazione di pressione atmosferica o subacquea, il computer rimane aggiornato sui cambi di pressione a cui è sottoposto anche il subacqueo, assicurando che i dati elaborati dal suo algoritmo siano corretti e correlati all'effettiva variazione della pressione che agisce sui tessuti del corpo umano, assicurando dati corretti e rendendo così sicura l'immersione.

Durante le immersioni nei due laghi la visibilità è risultata di circa un metro, massimo un metro e mezzo con temperature dell'acqua variabili da 14°C a 16°C, mentre la visibilità rilevata con il disco di Secchi a centro Lago CS dal gommone è stata di 2,5 metri. Il fondale è risultato coperto sotto i tre metri nel Lago CI da uno strato di fango soprapelitico spesso fino ad 80 centimetri, mentre nel Lago CS il fango iniziava sotto i quattro metri con spessori di 30-40 centimetri. Valori superiori rispetto alla precedente campagna del 1999 (Fig 3.1). Presenti in ambedue i laghi massi e frammenti rocciosi di dimensioni variabili, soprattutto nei versanti est ed ovest (Figg. 3.3-3.4).





Fig 3.2 2018 Subacquei con computer abilitato alle immersioni in quota. Il valore a sinistra indica la profondità (foto L. La Spina).

#### **Macrofite**

Riportiamo in questo capitolo i risultati dello studio sulle macrofite o piante acquatiche che sono state analizzate anche grazie al supporto del materiale video e fotografico raccolto dai sub nelle due campagne di studio. È stata confrontata con i precedenti studi: Festi & Prosser (2000) e Lasen (Relazione

dell'escursione del 4 agosto 2005. Rolle-Tognazza-Cavallazza-Laghi di Colbricon-Paneveggio,
comunicazione personale di C. Lasen). Da Festi
& Prosser (2000): attorno ad alcuni tratti dei laghi si sviluppano cinture di cariceti, in cui sono
state riconosciute le seguenti specie di Carex: Carex limosa L., Carex rostrata, Carex nigra (L.)
Reichard., Carex stellulata, Carex paupercula
Michx., Carex pauciflora Lightf.. Queste sono
spesso associate a sfagni e ad altre specie torbicole acidofile, come Viola palustris L., Epilobium
angustifolium Vill., Adenostylion sp., Potentilla
palustris (L.) Scop., Trichophorum caespitosum
(L.) Hartm., Eriophorum vaginatum L., Tofieldia
calyculata (L.) Wahlenb., Pinguicula vulgaris

Fig 3.4 2018 Fondale con massi ricoperti da microalghe epilitiche nel Lago CI (foto F. Meneghello e A. Giacomello).





Fig 3.5 2018 Lago CS cariceto (*Carex* spp.) nella zona vicino al rifugio (*foto G. Pertile*).

L., Willemetia stipitata (Jacq.) Dalla Torre. Carex limosa è considerata una specie rara e tipica di ambienti palustri (torbiere) di notevole pregio naturalistico; rinvenuta sulle sponde di entrambi i laghi (Fig. 3.5). Nelle zone di riva meno scoscese e con fondo limoso è presente una vegetazione palustre costituita da macrofite acquatiche; tra queste si individuano stazioni a potamogeti, piante idrofile flottanti, tipiche di zone di torbiera. Potamogeton alpinus Balb. (Fig. 3.6), presente in Italia in pochissime stazioni, tutte in Trentino, sono stati trovati esemplari fertili nel Lago CI nei pressi dell'immissiario e Potamogeton praelongus Wulfen. (Fig. 3.7), rarissimo in Italia nord-orientale e ritrovato per la prima volta proprio nei Laghi di Colbricon, dove sono state osservate solo piante sterili.

Da Lasen: Lago CS La frequentazione turistica è davvero molto importan-

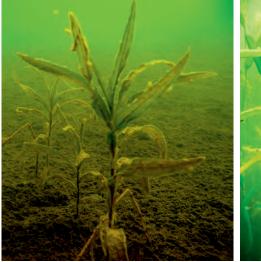




Fig 3.6 e 3.7

Potamogeton alpinus e P. praelongus nel Lago CS (foto W. Cornolò e S. Bigarella)



Fig 3.8
2018 Comunità di *Potamogeton alpinus* e *P. praelongus* nel CS (foto L. La Spina)

te. La situazione è di tipo "subbalneare", ma ciò non guasta di per sé. Nella zona nord-nord-est troviamo formazioni a *Carex rostrata*; sul versante ovest, ai margini del lago si individua un'altra zona con *Caricion nigrae* e *Potentilla palustris* e la nota e storica stazione di *Potamogeton (Potamogeton alpinus* e *P. praelongus*) (Figg. 3.6-3.7). Il Lago CI appare più tranquillo (meno affollato) e, ai margini, anche lembi erbacei con *Molinia* dominante. Complessivamente è più ricco con qualche entità neutrofila e



Fig 3.9
2018 Sub in azione nella sponda
Sud del Lago CS e rifugio (foto G.
Pertile)

non solo le solite specie torbicole acidofile. *Carex paupercula* forma una sottile cintura attorno ad alcuni tratti del lago. *Carex nigra, Trichophorum caespitosum* e *Carex rostrata* sono comunque prevalenti. Nel lago anche una piccola popolazione di *Sparganium angustifolium*.

Riportiamo i risultati del periodo 1998-2017; le macrofite sono insediate nella zona Nord e Nord-Est nel Lago CS e nelle zone a Nord e a Sud nel Lago CI (Fig. 3.5), dove le rive sono meno scoscese e dove è presente un substrato adatto (Trevisan & Rosso, 2001). Il range di profondità della distribuzione di *Potamogeton alpinus* Balb. è tra 2-3 m come riportato da Hutchinson (1967). Il *Potamogeton alpinus* Balb. è stato riscontrato in altri laghi del Bellunese (Lasen & Scariot, 2007). Le zone colonizzate dal cariceto (*Carex limosa* L. e *Carex* spp.) in pratica sono le stesse, non si è sostanzialmente modificata nei due sopralluoghi, mentre in entrambi i laghi si è registrato un enorme aumento della copertura del fondale, fino a una profondità di quasi 3 m, dovuta ai due *Potamogeton* (Fig. 3.8).

Le singole specie di macrofite possono essere usate come indicatrici di trofia (Melzer, 1999) con valori che vanno da 1.0, il più oligotrofo, a 5.0 il più eutrofico. *Potamogeton alpinus* appartiene al gruppo 2.0, cioè meso-oligotrofo, mentre *Ranunculus tricophyllus* (non presente nei Laghi di Colbricon) è collocato nel gruppo 4.5, decisamente eutrofo.

Nel Lago CS le macrofite sono risultate presenti fino ad una profondità di circa tre metri, con esemplari alti anche 1,5-2 metri, lungo quasi tutto il perimetro anche se non con continuità, eccetto i lati sud, sud-ovest.

# Capitolo IV Laghi adiacenti: Lago Cavallazza e Terzo Lago di Colbricon

R. Trevisan

#### Lago Cavallazza

Si trova tra il versante Nord dell'omonimo Monte (2322 m s.l.m.) e il versante Est della Cavallazza Piccola (2303 m s.l.m.), oltre il limite superiore degli alberi a quota 2138 m s.l.m. Ha un bacino imbrifero di Km² 0.183, su porfidi quarziferi, di nuda roccia (Tab. 4.1).

È un lago d'alta quota, di sicura origine glaciale, lago di circo, con un'area di 9385 m<sup>2</sup> e un'isola di 272 m<sup>2</sup>. (Fig. 4.1).

Stella nel suo lavoro del 1931 riporta: "sono due piccoli bacini d'acqua stagnante molto vicini, anzi adiacenti fra loro... situati in una depressione del versante settentrionale della Cavallazza, al di sopra del lungo e profondo trincerone, che si continua in vari camminamenti di guerra... In periodo di piena i due specchi devono formare un lago solo."

Il Lago Cavallazza è stato campionato mensilmente da riva nel periodo libero dai ghiacci nel 2000 e 2001. Sono sempre stati misurati: pH, temperatura dell'acqua superficiale e conducibilità, utilizzando strumentazione portatile. Nella zona litorale è stata campionata la comunità fitoplanctonica con un retino a maglie di 25 µm. I campioni sono stati osservati al microscopio ottico a 400 ingrandimenti, a fresco e dopo essere stati fissati con soluzione di Lugol (1%), per l'identificazione e il conteggio per il calcolo delle frequenze relative (Bicciato *et al.*, 2001). Per la determinazione tassonomica delle alghe sono stati utilizzati i seguenti testi: Bourelly (1972, 1981, 1985), Huber-Pestalozzi

Principali caratteristiche morfometriche del Lago Cavallazza					
Quota (m s.l.m.)	2138				
Lunghezza (m)	138				
Larghezza (m)	123				
Profondità (m)	7,1				
Profondità media (m)	2,57				
Superficie (m²) (a)	9847				
Linea di costa (m)	406				
Volume (m³)	25343				
Sviluppo linea di costa	1,15				
Sviluppo volume	0,36				
Profondità relativa	6,34				
Superficie bacino imbrifero (km²) (b)	0,19				
Altezza max bacino imbrifero (m s.l.m.)	2322,2				
Rapporto (b/a)	19,75				
Origine	circo				
Litologia della zona circostante	porfidi				

Da Cantonati et al., 2006



**Fig. 4.1** Lago Cavallazza, giugno, subito dopo il disgelo (*Foto R. Trevisan*)

(1941, 1955), Huber-Pestalozzi & Fott (1968), Komàrek & Fott (1983), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1991, 1998) e Coesel (1991, 1994, 1997). Nell'autunno 2000 e primavera-autunno 2001, sono stati raccolti campioni di acqua del lago e dell'emissario per la determinazione dei principali parametri chimici, analizzati presso il laboratorio del CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania, secondo Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1995).

La copertura vegetale del bacino imbrifero è costituita esclusivamente da prateria montana e radi arbusti di *Rhododendron ferrugineum* L. secondo Festi & Prosser (2000) e da noi documentata. Il Lago, situato a quota 2138 m s.l.m., è localizzato al di sopra del limite superiore della foresta (*treeline*): laddove gli alberi non riescono più a crescere (Anfodillo, 2007).

Sulle rive meno scoscese nella zona nord-est del Cavallazza sono presenti anche macrofite acquatiche appartenenti alle specie: *Ranunculus trichophyllus* Chaix subsp. *eradicatus* (Laest.) Cook, *Sparganium angustifolium* Michx, *Eriophorum scheuchzeri* Hoppe (Festi & Prosser 2000).

Stella (1931) e Tomasi (1962) riportano una profondità massima di 2 m e riferiscono che nei periodi di magra il lago si separa in due bacini. Boscaini (2016) riporta una profondità di 7 m (Tab. 4.1).

Nella Tab. 4.2 sono riportati i risultati delle analisi chimico-fisiche dell'acqua del lago e dell'emissario eseguite nel 2000, 2012 e 2015 messi a con-

		Giussani 86 26.7.81	Decet 95 4.8.91			Trevisan 17.10.12	Trevisan 17.10.15
		20.7.01	4.0.71	Lago	Emissario	Emissario	Emissario
pН		6,7	6,95	6,59	6,63	6,87	6,35
Cond.	μS	13	17	19,2	18,6	14,68	17,74
Cl-	mg/l	0,2	0,13	0,77	0,51	0,32	0,24
NO <sub>3</sub>	μg/l	43	0,19	228	125	7	35
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	2,5	1,90	1,11	1,12	0,45	0,69
HCO <sub>3</sub>	meq/l	0,07	0,15	0,12	0,14	0,13	0,16
Ca	mg/l	2,3	3,10	2,82	2,77	2,44	2,92
Mg	mg/l	0,1	0,13	0,15	0,15	0,11	0,13
Na	mg/l	0,3	0,42	0,5	0,49	0,56	0,44
K	mg/l	0	0,15	0,21	0,20	0,20	0,15
NH <sub>4</sub>	μg/l	25	NR	63	48	48	5
TN	μg/l	70		1	0	0	0
RP	μg/l	0		3	3	2	3
TP	μg/l	7		8	7	7	5
Fe	mg/l		0,02				
Mn	μg/l		2				
Al	μg/l		16				
Sr	μg/l		6				
Silice	mg/l	0,72		0,73	0,73	0,85	1,09

fronto con i valori riportati per lo stesso lago nel 1981 da Giussani *et al.* (1986) e nel 1991 da Decet *et al.* (1995). Il pH varia da 6.35 a 6.95; la conducibilità da 13 a 19.2 µS. I valori delle analisi chimiche dell'acqua, soprattutto N e P, ci permettono di definirlo un lago oligotrofo.

Sono stati determinati in tutto circa 80 taxa algali, di cui 35 appartenenti al gruppo delle Desmidiacee e 27 a quello delle Bacillarioficee. La maggior ricchezza di specie nelle Desmidiacee può essere legata a caratteristiche del lago quali oligotrofia, bassa profondità, pH tendenzialmente acido, bassa conducibilità, tutte condizioni che queste alghe prediligono (Brook, 1981).

Giussani *et al.* (1986) nel loro lavoro riportano la presenza di 6 specie (3 desmidiacee 1 diatomea e 2 cloroficee) che sono state riscontrate anche nei nostri campioni.

Principali specie e/o generi da noi riscontrati nei campionamemti del 2000 e 2001 (Fig. 4.2):

**Cyanobacteria**: *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli, *Merismopedia punctata* Meyen, *Phormidium tenue* Gomont correntemente è considerato un sinonimo di *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek;

**Tab. 4.2**Lago Cavallazza: risultati delle analisi chimico-fisiche

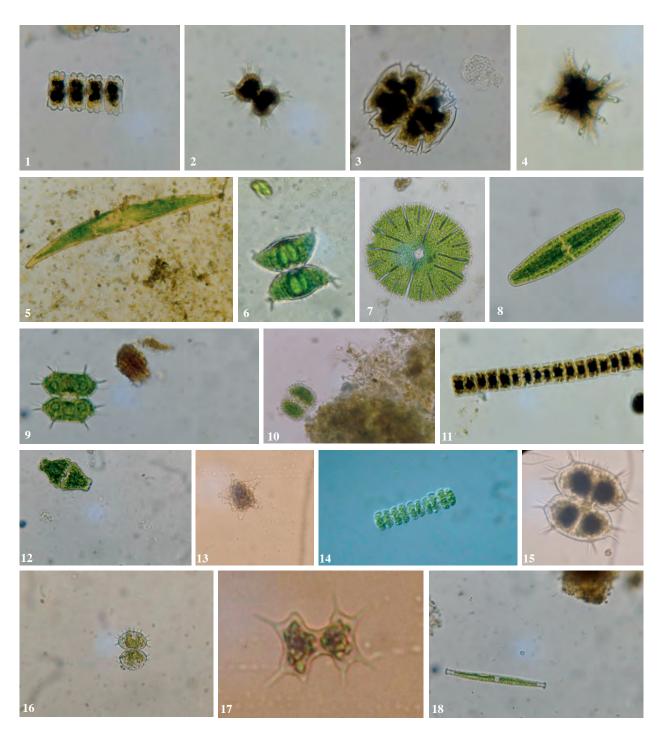


Fig 4.2

Principali specie e/o generi algali (con il corrispondente MFG) del Lago Cavallazza riscontrate nei campionamenti del 2000 e 2001.

(1) Desmidium swartzii C. Agardh ex Ralfs MFG 9a, (2) Staurastrum furcatum Brébisson MFG 8a, (3) Micrasterias truncata Brébisson ex Ralfs MFG 8a, (4) Staurastrum inconspicuum Nordstedt MFG 8a, (5) Closterium ralfsii Brébisson ex Ralfsv, (6) Staurastrum avicula Brèbissonii MFG 8a, (7) Micrasterias rotata Ralfs MFG 8a, (8) Netrium digitus (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe MFG 8a, (9) Xantidium antilopaem (Brèb) Kùtz MFG 8a, (10) Cosmarium brebissonii Meneghini ex Ralfs MFG 8a, (11) Hyalotheca dissiliens Brébisson ex Ralfs MFG 8a, (12) Euastrum ansatum Ehrenberg ex Ralfs MFG 8a, (13) Staurastrum incospicuum Nordst 40x MFG 8a, (14) Sphaerozosma vertebratum Brébisson ex Ralfs MFG 8a, (15) Xanthidium antilopaeum Kützing MFG 8a, (16) Staurastrum teliferum Ralfs MFG 8a, (17) Xanthidium octocorne Ehrenberg ex Ralfs sinonimo di Staurodesmus octocornis (Ehrenberg ex Ralfs) Stastny, Skaloud & Neustupa MFG 8a, (18) Pleurotaenium sceptrum (Kützing) Nägeli MFG 8a

**Chlorophyceae:** *Pandorina morum* (O.F.Müller) Bory, *Pediastrum boryanum* West, *Scenedesmus* Meyen;

Conjugatophyceae (ZYGNEMATOPHYCEAE - Desmidiaceae): Arthrodesmus Ehrenberg ex Ralfs (attualmente considerato come sinonimo di Staurodesmus), Cosmarium brebissonii Meneghini ex Ralfs, Desmidium swartzii C.Agardh ex Ralfs, Euastrum ansatum Ehrenberg ex Ralfs, Hyalotheca dissiliens Brébisson ex Ralfs, Micrasterias C.Agardh ex Ralfs, Netrium digitus (Brébisson ex Ralfs) Itzigsohn & Rothe, Pleurotaenium sceptrum (Kützing) Nägeli, Staurastrum avicula Brèbissonii, S. furcatum Brébisson, S. inconspicuum Nordstedt, S. teliferum Ralfs, S. tohopekaligense Wolle;

**Chrysophyceae**: *Dinobryon sociale* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Mallomonas* sp. Perty;

**Cryptophyceae:** *Cryptomonas obovata* Ehrenberg, *Plagioselmis nanno-planctica* (Skuja) G.Novarino, I.A.N. Lucas & Morrall;

**Dinophyceae:** *Peridinium* Ehrenberg, *Sphaerodinium cinctum* (Ehrenberg) Woloszynska sinonimo di *Glenodiniopsis steinii* Woloszynska;

**Bacillariophyceae**: *Achnantes* sp. Bory, *Fragilaria* sp. Lyngbye, *Gomphonema* sp. Ehrenberg, *Navicula lanceolata* Ehrenberg, *Pinnularia* sp. Ehrenberg, *Tabellaria* sp.Ehrenberg ex Kützing;

Euglenophycea genere Trachelomonas Ehrenberg.

Le Conjugatophyceae (Zygnematophyceae - Desmidiaceae) sono state determinate e confrontate basandosi sui seguenti testi: Coesel, 1985, 1991, 1994, 1997; Abdelahad *et al.*, 2003; Dell'Uomo, 1991; Martello, 2006.

Dell'Uomo (1991) nel suo catalogo fornisce un elenco di tutte le Desmidiacee segnalate fino al 1990 nel territorio del Trentino-Alto Adige, una regione ricca di ambienti umidi di ogni tipo, come laghi, paludi, torbiere, sorgenti, corsi d'acqua, rocce stillicidiose, ecc. Non è stata studiata nessuna località sul Lagorai. L'elenco comprende 407 taxa ripartiti in 22 generi. Martello (2006) riporta i risultati delle analisi sulle Desmidiacee di alcune zone della Catena del Lagorai.

Abdelahad *et al.* (2003) nel suo catalogo riporta tutte le Desmidiaceae segnalate in Italia, sono riportati 764 taxa, di cui 414 in Trentino.

Le Desmidiacee vivono esclusivamente nelle acque dolci, dove sono rappresentate da più di 4000 specie afferenti ad una quarantina di generi. Esse mostrano una grande sensibilità nei confronti del pH: la maggior parte colonizza acque a reazione acida (p H 4.0-7.0), in particolare quelle delle torbiere a sfagni dove massima risulta la loro diversità specifica e dove, a motivo della forte selezione operata dai bassi valori di pH, la vita è consentita solo a pochi altri gruppi di organismi vegetali ed animali. Molte sono le specie che popolano prevalentemente, o esclusivamente, regioni fredde e montagnose.

Martello (2006) ha analizzato un laghetto oligotrofo, una torbiera bassa, una pozza e un laghetto con vegetazione litoranea, tra i 1800-2100 m s.l.m., nella catena del Lagorai.

Le Desmidiacee da noi riscontrate nel Lago Cavallazza nel 2000-2001 sono in consonanza con i tre lavori sopra citati.

Da notare tra le specie più frequenti la presenza di ZYGNEMATO-PHYCEAE (Desmidiacee): *Desmidium swartzii* (C. A Ag.) C. A. Ag. ex Ralfs, *Euastrum ansatum* Ralfs, *Micrasterias rotata* Ralfs, *Micrasterias truncata* Brébisson ex Ralfs, già trovate da Giussani *et al.* (1986); inoltre frequente è il genere *Staurastrum* Meyen ex Ralfs soprattutto con diverse specie. La comunità fitoplanctonica del Lago Cavallazza presenta una "flora a Desmidiacee" che è caratteristica di acque poco mineralizzate, povere di calcio, a bassa alcalinità, con pH acido (4.0-7.0) e con buona circolazione delle acque (Hutchinson, 1957; Brook, 1981).

#### Terzo Lago di Colbricon

Nelle Fig. 2.1 (del secondo capitolo) e Fig 4.3 è stata descritta la depressione dove è situato quello che si potrebbe definire il terzo Lago di Colbricon. È stato campionato nel giugno 2016. Dati misurati in campo: pH 5.63; T

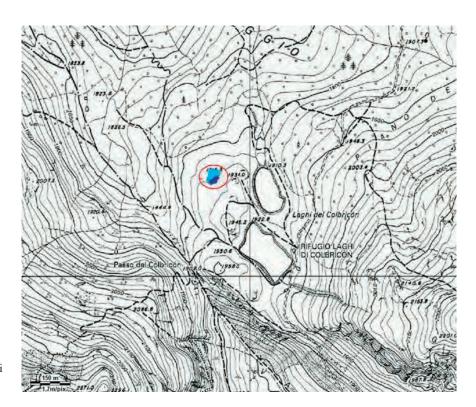


Fig 4.3 Localizzazione del terzo Lago di Colbricon



Fig 4.4
Terzo Lago di Colbricon giugno 2016 (Foto G. Girardi)

14°; redox + 80 mV; conducibilità 17  $\mu S$  e è stata valutata una profondità di circa un metro (Fig 4.4).

In ottobre 2016, in corrispondenza con i campionamenti dei Laghi di Colbricon, il terzo laghetto era ridotto di dimensioni e la quantità d'acqua presente molto scarsa; in pratica si era ridotto a "zona paludosa".

Queste informazioni sono state riportate per dimostrare come ci siano quattro bacini lacustri con caratteristiche morfometriche, chimiche e biologiche così diverse in un'area piccola come quella tra il Monte Cavallazza e il Monte Colbricon.

### Capitolo V Periodo di Studio 1998-2016

Campionamenti eseguiti dal gruppo di ricerca di R. Trevisan

I Laghi d'alta quota CS e CI sono stati oggetto di studio e monitoraggio dal 1998 al 2007 nel periodo libero dai ghiacci con cadenza mensile; sono stati analizzati i principali parametri abiotici e biotici; i campionamenti eseguiti dal gruppo di ricerca della Prof. R. Trevisan.

Le stazioni di campionamento sono state scelte al centro lago in corrispondenza del punto di massima profondità, considerato essere il punto più indicato per gli studi limnologici in quanto è sufficiente un solo punto di campionamento in laghi di modeste dimensioni (Saraceni & Ruggiu, 1974; Vollenweider, 1974; Morabito, 1997; Paris, 1997). Sono stati eseguiti 69 campionamenti per lago.

A bordo di un gommone, sono state effettuate le misure dei principali parametri chimico-fisici delle acque dei laghi (livello idrico, temperatura dell'aria, dell'acqua dell'intera colonna, trasparenza, pH, conducibilità); sono stati prelevati campioni integrati provenienti da tutta la zona eufotica con un tubo flessibile in plastica a sifone per le successive analisi qualitative e quantitative: densità e biomassa del fitoplancton (Fig. 5.1). Nel periodo primaverile e autunnale sono stati raccolti, dai campioni integrati, dei subcampioni per la determinazione dei principali parametri chimici, analizzati presso il CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania, secondo Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1995). Campioni di acqua per analisi tassonomiche sono stati raccolti con una rete da plancton da 25 µm. I campioni sono stati fissati con la soluzione di Lugol e sono stati esaminati mediante microscopia a campo luminoso utilizzando un microscopio invertito a 400 ingrandimenti, secondo la tecnica Utermöhl (Utermöhl, 1958) e per alcune specifiche identificazioni utilizzando tecniche di microscopia a scan-



**Fig. 5.1** Attività di campionamernto

sione (Cambridge Stereoscan 250 accelerating voltage 20 k V) presso il "Centro Universitario Grandi Apparecchiature Scientifiche" CUGAS dell'Università di Padova. Il volume della popolazione è stato stimato moltiplicando i biovolumi di riferimento da noi calcolati per l'abbondanza dei differenti taxa identificati.

Le variazioni del livello idrico sono state valutate su un'asta graduata posizionata in modo che 0 = 1922 m s.l.m. nel Lago CS e 0 = 1910 m s.l.m. nel Lago CI.

L'1 e 2 ottobre 1999 è stata portata a termine la raccolta dati per la costruzione della carta batimetrica dei Laghi di Colbricon.

Nel 2000-01, nei mesi in cui era libero dal ghiaccio, è stata eseguita una ricerca limnologica con campionamenti mensili, prelevati da riva, anche sul Lago Cavallazza.

Dal 7 all'11 settembre 2010 è stata organizzata una campagna per la raccolta delle carote di sedimento da un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova, del CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania e del Centre for Bio-Archaeology and Ecology, Institut de Botanique, Montpellier, France. Nella zona di massima profondità del Lago CI sono state prelevate diverse carote utilizzando un carotatore a gravità (diametro di 63,5 mm), che ha permesso di raccogliere carote lunghe circa 1 m, la base della carota più lunga corrisponderebbe circa al 1500 A.D. Con un carotatore a pistone è stata prelevata una carota lunga 361 cm che ricopre un periodo di circa 13000 anni. Su questo materiale sono state analizzate la presenza e la quantità di diatomee, cisti di crisoficee, pigmenti algali e pollini fossili dai ricercatori italiani, mentre i francesi hanno indagato la frequenza degli incendi della vegetazione locale attraverso il tasso di particelle carboniose e macroresti vegetali.

La datazione della carota è stata fatta al 210Pb sul modello CRS (Appleby & Oldfield, 1978) e con il supporto del 137Cs.

Nel 1997 in autunno, a fine stagione vegetativa, prima del congelamento, e nuovamente nel 2004, sono state eseguite analisi microbiche sulle acque dei Laghi di Colbricon da parte del Prof. Squartini e collaboratori del Dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova.

I Laghi di Colbricon sono stati monitorati, in tardo autunno, fino al 2016 e più precisamente nel 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Le analisi chimiche sono state eseguite presso il laboratorio del CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania, eccetto primavera del 2016, eseguito dall'ARPAV, e autunno del 2016 eseguito presso il laboratorio LaChi del Dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova.

Temperatura dell'aria e dell'acqua, pH, trasparenza e conducibilità sono sempre state misurate in campo con strumenti portatili.

## Capitolo VI Parametri abiotici

F. Decet, R. Trevisan

Il clima di questa regione è di tipo boreale alpino (Tomaselli *et al.*, 1973; Gerdol & Tomaselli, 1997; Trevisan & Rosso, 2001), con accentuate escursioni termiche sia diurne che stagionali e precipitazioni a carattere estivo.

La stazione meteorologica di Passo Rolle è la stazione di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e per l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, relativa all'area montana del valico alpino di Passo Rolle e dista circa 2 Km dai Laghi di Colbricon.

In base alle medie climatiche del periodo 1971-2000, la temperatura media del mese più freddo, febbraio, è di -4,4 °C, mentre quella del mese più caldo, luglio, è di +11,5 °C; mediamente si contano 193 giorni di gelo all'anno e zero giorni con temperatura massima uguale o superiore ai +30 °C. I valori estremi di temperatura registrati nel medesimo trentennio sono i -24,8 °C del marzo 1971 e i +25,4 °C del luglio 1983. Filippi Gilli (2017) riporta una precipitazione media annua di 1308 mm; una temperatura media annua minima – 1.3 °C e massima +7 °C, su dati fino al 2016.

Nel 2003 si è registrata un'estate particolarmente calda e durante i nostri campionamenti quell'anno abbiamo misurato temperature dell'aria di 23.2 °C nel Lago CS e 23,7 °C nel Lago CI e comparativamente di 18,2 °C dell'acqua superficiale nel Lago CS e di 19,2 °C nel Lago CI.

Le precipitazioni medie annue 1971-2000 si attestano a 1027 mm, mediamente distribuite in 114 giorni di pioggia, con minimo relativo in inverno, picco massimo in estate e massimo secondario in autunno per gli accumuli (http://my.meteonetwork.it/station/trn137/).

In base alla carta bioclimatica d'Italia (Tomaselli *et al.*, 1973; Gerdol & Tomaselli, 1997) ci troviamo nella regione axerica fredda, sottoregione mediamente fredda, oroigrotera, con un clima detto boreale alpino. In questo caso il fattore limitante, per la vegetazione, è rappresentato proprio dalla quota e dalla temperatura, infatti il periodo di gelo è di 4-6 mesi. La formazione climacica dominante è il *Larici-Cembretum*; il larice e il cembro seguono, sulle Alpi, il limite superiore delle vegetazione arborea; tale limite coincide con un periodo di gelo di circa 6 mesi.

#### Temperatura, livello idrico, trasparenza, periodo di gelo e disgelo

#### Periodo libero dai ghiacci

I dati di gelo e disgelo degli ultimi 17 anni sono stati raccolti mediante osservazioni dei guardiaparco del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino durante il servizio di vigilanza.

Un lago, pur piccolo come i nostri (CS area: 22812 m²; CI area 12060 m²), non gela e sgela in un giorno, il fenomeno è graduale, le acque iniziano a gelare dalle rive verso il centro e al momento del disgelo il fenomeno è opposto. Il disgelo normalmente avviene in una quindicina di giorni; la fase

di gelo può protrarsi fino ad un mese se la temperatura subisce accentuate diminuzioni e aumenti. Per il fatto che il disgelo si è protratto per un periodo minimo di 15 GG, negli anni della nostra ricerca, non siamo mai riusciti a campionare nel momento dell'omeotermia primaverile.

Sono laghi di tipo dimittico (ISMA, 1996), in cui si verificano due fasi di isotermia primaverile ed autunnale e due fasi di stratificazione termica, estiva ed invernale, come generalmente risulta nei laghi d'alta montagna (Pechlaner, 1971).

Dalla Fig 6.1, dati dal 1999 al 2015, si può notare come la durata del periodo in cui i laghi sono liberi dal ghiaccio può variare da 150 giorni (minimo) nel 2002, ad un massimo di circa 200 giorni, nel 2014. Questo dato è uno dei parametri, assieme alla temperatura dell'acqua, che maggiormente influenza le comunità biotiche dei laghi.

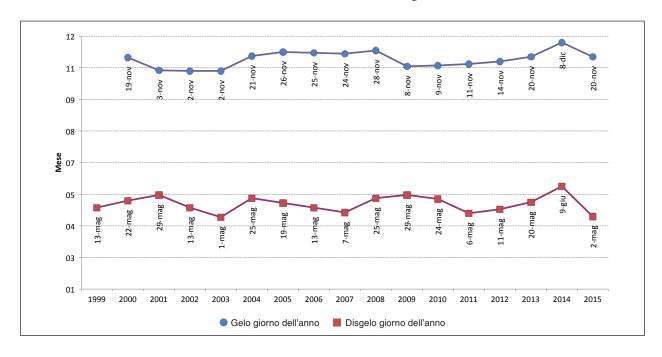


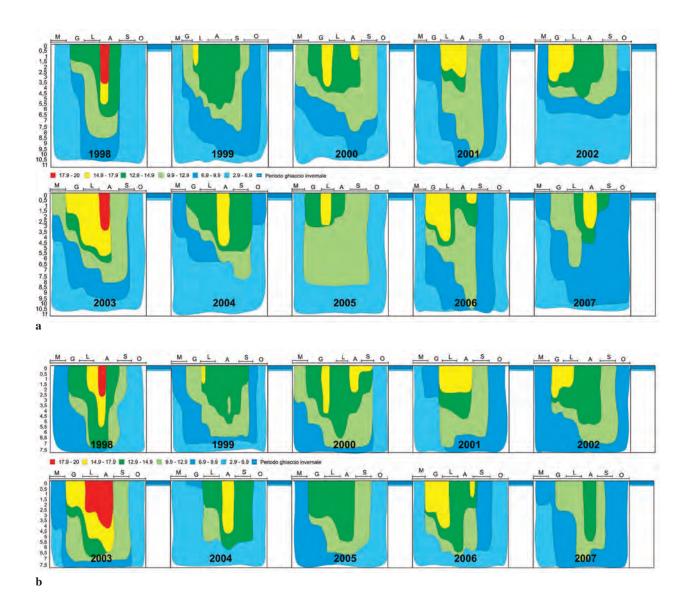
Fig 6.1 Giorni dell'anno di gelo e di disgelo dei Laghi di Colbricon dal 1999 al 2015.

#### Temperatura dell'acqua, conducibilità, livello idrico, trasparenza

Sono i classici parametri che sono sempre stati raccolti con la strumentazione portatile in loco, dalla barca in ogni campionamento.

Dall'analisi dei dati della temperatura dell'acqua dei 10 anni di studi (1998/2007) emerge che l'escursione termica dell'acqua nell'arco di un anno è di circa 10° C con un massimo di 13.5° C nel Lago CI nel 1998; Pechlaner (1971) riferisce di valori di fluttuazione di 8°-9° C nei laghi delle Alpi, Pirenei, Tatra e Lapponia.

L'andamento della temperatura nella colonna d'acqua, riportato in Fig. 6.2a per il Lago CS e Fig. 6.2b per il Lago CI, da noi misurata ad ogni uscita, evidenzia omeotermia primaverile ed autunnale.



Le variazioni del livello idrico sono state valutate su un'asta graduata posizionata in modo che 0 = 1922 m s.l.m. nel Lago CS e 0 = 1910 m s.l.m. nel Lago CI.

Per quanto riguarda il pH e il livello idrometrico, da noi considerato come indicatore indiretto della piovosità, possiamo dire che sono inversamente proporzionali: infatti un aumento di 10 cm del livello idrometrico, ha portato ad un abbassamento del pH di un'unità circa, sia nel Lago CS che nel Lago CI. I valori di pH sono: 8.3 massimo misurato nei due laghi nel 1998 e 4.97 e 4.07 minimi rispettivamente nel Lago CS e Lago CI nel 2000.

La trasparenza, misurata con il disco di Secchi, è strettamente correlata con

#### Fig. 6.2a Lago CS e Fig. 6.2b Lago CI

Temperature registrate nei 10 anni di studio, nei vari mesi campionati, nella colonna d'acqua (0-11 m nel CS; 0-7.5 m nel CI): in rosso da 17.9° a 20°; in giallo 14.9-17.9; in verde scuro 12.9-14.9; in verde chiaro 9.9-12.9; in blu scuro 6.9-9.9; in azzurro chiaro 2.9-6.9. Le varie annate sono separate da un periodo più o meno lungo con acque superficiali ghiacciate.

i valori di biomassa, che presenta andamenti annuali molto differenziati tra le varie annate (Figg. 7.2.1-7.2.2). Questo in accordo con tutti i piccoli laghi d'alta quota, es. Calaita, Paione, tre laghi sui Monti Tatra (Decet *et al.*, 1996; Mosello *et al.*, 1996; Fott *et al.*, 1999).

In entrambi i laghi i valori medi di pH erano vicini alla neutralità e la conducibilità media era bassa, coerente con una limitata condizione di salinità. Durante il periodo esaminato, entrambi i laghi erano mesotrofici, con valori medi di trasparenza di 5 e 4,15 m per Lago CS e Lago CI rispettivamente.

#### **Caratteristiche chimiche**

**Tab. 6.1** Risultati delle analisi chimiche di precedenti studi: Giussani *et al.*, 1986; Decet *et al.*, 1995; ISMA, 1996, 1997; Trevisan *et al.*, 2002.

Nella tabella 6.1 sono riportati i dati dei precedenti studi: Giussani *et al.* 1986, Decet *et al.*, 1995, ISMA, 1996, 1997, Trevisan *et al.*, 2002.

I laghi sono stati monitorati nel periodo primaverile e autunnale dal 2000 al 2007, poi in tardo autunno, tutti gli anni fino al 2016. Le analisi chimi-

		Colbricon Superiore							Colb	ricon Infe	riore
		Giussani 1986		et al., 95	ISN 19	ЛА, 96	ISMA, 1997	Trevisan 2002		et al., 95	Trevisan 2002
		26.7.81	25.6.90	11.9.90.	13.6.95	17.8.95	18.6.96	24.9.00	11.9.90	23.9.90	24.9.00
pН		7	8.42	7.96	7.8	8.9	7.2	6.91	8.28	7.87	7.1
Cond.	mS cm <sup>-1</sup>	34	39	44	40	45	44	46.8	44	43	44.6
Cl-	mg l <sup>-1</sup>	0.4	0.58	0.42	<1	<1	0.6	0.71	0.42	0.32	0.67
$NO_3^N$	mg l <sup>-1</sup>	29	210	20	204	38	80	155	20	20	180
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg l <sup>-1</sup>	3.1	3.0	2.8	2	5	2.2	2.05	2.8	2.6	1.99
HCO <sub>3</sub> -	mg l <sup>-1</sup>	17	12	36	23	24	24		24	nd	
Ca	mg 1 <sup>-1</sup>	6.5	3.6	8.0	8.1	8.4	8.3	8.1	7.2	nd	7.8
Mg	mg 1 <sup>-1</sup>	0.2	0.17	0.2	0.2	0.2	0.2	0.31	0.19	0.21	0.29
Na	mg l <sup>-1</sup>	0.7	0.71	0.8	0.7	0.9	0.8	0.95	0.76	0.72	1.04
K	mg l <sup>-1</sup>	0.3	0.19	0.16	0.2	0.2	0.2	0.36	0.20	0.18	0.27
NH <sub>4</sub> -N	mg 1 <sup>-1</sup>	80.	35	NR	61	<20	<20	73	NR	NR	86
TN	mg l <sup>-1</sup>	113						530			510
RP	mg l <sup>-1</sup>	3			2	2	6	2			3
Тр	mg 1 <sup>-1</sup>	8			2	8	11	8			6
Fe	mg 1 <sup>-1</sup>		60						66	28	
Mn	mg l <sup>-1</sup>		8						6	9	
Al	mg l <sup>-1</sup>		50						50	110	
Sr	mg l <sup>-1</sup>		10						10	12	
Zn	mg l <sup>-1</sup>		3						2	1	
Silice	mg l <sup>-1</sup>	0.87			2.07	1.73	1.98	0.82			0.99

che sono state eseguite presso il laboratorio del CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania, eccetto giugno 2016 (analisi eseguita presso il laboratorio dell'ARPAV) e ottobre 2016 (eseguita presso il laboratorio LaChi del Dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova).

Le analisi chimiche sono state effettuate in accordo con Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e riportati in Tartari & Mosello (1997).

Per i dati antecedenti il 1998 si cita l'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente - Settore Tecnico - u.o. tutela dell'acqua, APPA, ma l'esecuzione delle analisi è stata fatta dai ricercatori dell'Istituto Agrario di S.Michele all'Adige, il chimico responsabile Dott. Flavio Corradini.

La composizione chimica delle acque dei Laghi di Colbricon in prima approssimazione è il risultato delle deposizioni umide (piogge e nevi), della dissoluzione del substrato roccioso e degli scambi con le biomasse presenti nei corpi lacustri. Un esame più approfondito potrebbe considerare anche la deposizione secca, gli apporti antropici, la vegetazione ripale, gli scambi tra i sedimenti lacustri e la colonna d'acqua sovrastante. Tutto questo fa di questi laghi – e dei laghi in genere – un eccellente luogo per osservare la rete di interazioni che avvolge questi microcosmi e della quale noi stessi siamo in fondo parte integrante.

#### Il percorso di una goccia di pioggia: rocce e suolo

Forse il modo migliore per comprendere l'origine e l'evoluzione della composizione chimica delle acque dei Laghi di Colbricon è quello di seguire il percorso di una ipotetica goccia di pioggia dall'atmosfera all'uscita dal lago (Morse *et al.*, 1990). L'acqua oceanica e l'atmosfera sono le fonti principali dei composti chimici presenti nelle deposizioni umide, piogge e neve. Gli ioni calcio, magnesio, sodio, potassio, cloruro ed in parte solfato derivano principalmente dall'aerosol marino, mentre ammonio, nitrato, anidride carbonica ed il restante solfato sono il risultato del dilavamento dell'atmosfera (Berner *et. al*, 1987). La pioggia in aree non contaminate è leggermente acida, con un pH medio 5,6 dovuto all'acido carbonico¹. L'atmosfera può contenere anche concentrazioni rilevanti di ossidi di azoto (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, indicati collettivamen-

pH è una notazione sintetica particolarmente utilizzata dai chimici, ma proposta da Sorensen, un biologo, che forse è opportuno spiegare. La concentrazione di ioni idrogeno è una variabile essenziale nei processi ambientali, nelle acque naturali varia tra 0,000 001 e 0,000 000 001 gr/l. Questi numeri con molti zeri non sono agevoli da maneggiare ed è utile trasformarli in qualcosa di più compatto. Per questo è stata introdotta la scala del pH definita come pH = - Log (H+). In sostanza si calcola il logaritmo decimale delle concentrazioni di ioni idrogeno. Nel caso essa sia 0,000 001 il logaritmo vale -5; si rende poi positivo questo numero ottenendo pH = 5. La scala del pH vale per soluzioni acquose e va a da zero a 14: una soluzione è acida se il suo pH è compreso tra 0 e 7, basica se tra 7 e 14. Va tenuto presente che è su base logaritmica, per cui un salto di 1 unità corrisponde ad una variazione di 10 volte della concentrazione di ioni idrogeno.

te come NOx e derivanti principalmente dalla reazione tra azoto ed ossigeno a seguito di combustioni naturali ed antropiche) ed anidride solforosa (SO<sub>2</sub>, originata da emissioni vulcaniche, da solfuri biogenici, dalla combustione di oli pesanti e carbone). NOx e SO<sub>2</sub> sono ossidati nell'atmosfera rispettivamente ad acido nitrico e solforico, i quali sono poi incorporati dalla pioggia. Il pH di quest'ultima può raggiungere in tal modo valori inferiori a 5, nel qual caso si parla di piogge acide (Mosello *et al.*,1987; EMEP, 1993; Stumm *et al.*, 1995). Queste ultime possono agire negativamente sulle comunità viventi in particolare nel caso di substrati geologici a silicati. Nel caso di suoli calcarei i carbonati presenti costituiscono una riserva in grado di neutralizzare l'acidità delle precipitazioni.

Ritornando alla nostra goccia d'acqua, quando questa viene a contatto con le rocce ne discioglie una piccola quantità mediante un processo di dilavamento (ted. *Verwitterung*, ingl. *Weathering*) che per le rocce silicee- ed è il caso dei laghi in esame- può esser riassunto in alcune reazioni chimiche (Stumm *et al.*, 1981; Berner, 1992):

$$2NaALSi_{3}O_{8(albite)} + 2H_{2}O + 2CO_{2} + 9\ H_{2}O = 2Na^{+} + 2\ HCO_{3}^{-} + 4\ H_{2}O + 4\ SiO_{2} + Al_{2}Si_{2}O_{5}(OH)_{5\ (caolinite)}(1)$$

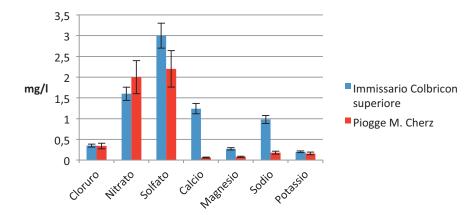
L'equazione (1) considera l'albite, un silicato di sodio ed alluminio, che reagendo con l'anidride carbonica presente in soluzione si trasforma in caolinite (un composto della famiglia delle argille) cedendo alla fase acquosa ioni sodio, bicarbonato e silice. Un processo simile è quello a carico dell'anortite:

$$\begin{array}{l} {\rm CaAl_{2}Si_{2}O_{8(anortite,\,solido)}} + 2\;{\rm H_{2}O} + 2{\rm CO_{2}} + {\rm H_{2}O} = {\rm Ca^{++}} + 2{\rm HCO_{3}}^{-} + \\ {\rm Al_{2}Si_{2}O_{5}(OH)_{5}}_{\; (caolinite,\,solido)} \; (2) \end{array}$$

In questo caso la reazione con l'anidride carbonica genera ioni calcio ed ancora bicarbonato e silice disciolta. Reazioni analoghe coinvolgono i silicati contenenti magnesio (Drever, 1988). Nei porfidi sono presenti inoltre quantità notevoli di quarzo (SiO<sub>2</sub>). In condizioni di equilibrio ed a 10°C un litro d'acqua può sciogliere circa 5 mg di Silicio secondo l'eq. seguente:

$$SiO_{2 \text{ (quarzo)}} + 2 H_2O = Si(OH)_{4 \text{ (in soluzione)}} (3)$$

In conseguenza di tutto questo la nostra goccia quando sgorga nel Lago CS dovrebbe risultare arricchita rispetto alla pioggia in sodio, calcio, magnesio e silicio. Nello stesso tempo una parte notevole del suo acido carbonico sarà stato trasformato in bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), con un conseguente aumento del pH. Il confronto tra le concentrazioni medie rilevate nelle deposizioni umide con quelle dell'immissario del Lago CS conferma sostanzialmente questi meccanismi (Fig. 6.3).



Confronto tra la composizione delle piogge (media degli anni 1989-1991 della vicina stazione meteo del M. Cherz (2000 m s.l.m., Prov. Belluno) e dell'immissario del Lago CS (prelievo del 11 9 1990). Le con-

Fig. 6.3

(prelievo del 11.9.1990). Le concentrazioni sono espresse in mg/l, eccetto per il calcio per il quale sono state ridotte di 10 volte per motivi di leggibilità del grafico. Il pH delle piogge dell'area, non riportato nel grafico, è pari a 5,48; quello dell'immissario ad 8,05. Le barre indicano

l'errore analitico.

In natura i processi descritti dalle reazioni (1-3) difficilmente raggiungono le condizioni di equilibrio per cui queste equazioni hanno una funzione più di guida esplicativa che di effettivo modellamento. Tuttavia esse permettono di illustrare un silente processo di enorme importanza su scala globale: il dilavamento dei silicati sequestra anidride carbonica atmosferica contribuendo al controllo di questo gas serra implicato nel riscaldamento globale. Quando la nostra goccia d'acqua arriverà al mare si avrà il processo opposto, cioè la precipitazione del carbonato di calcio – processo al quale in epoche geologiche passate le imponenti banconate di dolomie e calcari delle Pale di S. Martino devono la loro origine – e la liberazione di anidride carbonica. Ma in questa reazione si libererà solo una delle due molecole di  $\mathrm{CO}_2$  catturate nella fase di dissoluzione:

$$Ca^{++} + 2HCO_3^- = CaCO_3$$
 (carbonato di calcio, solido)  $+ CO_2 + H_2O$  (4)

Nel caso del dilavamento dei calcari invece il processo è a somma zero, come mostra appunto l'eq.  $(4)^2$ .

Finora sono stati considerati solo una manciata di composti, tutti inorganici, ed almeno un accenno merita la schiera ben più nutrita dei composti organici, quasi ignorati fino a non molti anni fa, essendo la loro determinazione impedita da limiti strumentali. Una serie di questi, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), generati dalle combustioni ed in particolare da quella della legna, sono stati indagati recentemente nei sedimenti lacustri e nelle nevi delle Dolomiti (Gabrieli, 2007; Gabrieli, et al., 2010). Gli IPA, unitamente ad altri composti organici volatili (ad esempio Policlorobifenili (PCB), alcuni pesticidi etc.) entrano facilmente

In realtà andrebbero considerati anche altri processi tra cui almeno: a) l'evapotraspirazione a causa della quale una parte della pioggia evapora una volta raggiunto il suolo e le piante, aumentando la concentrazione degli ioni nella frazione rimanente; b) la deposizione secca; c) gli scambi con il suolo.

nel ciclo atmosferico e possono esser trasportati su lunghe distanze per "condensare" poi in aree fredde, ad esempio montagne elevate o aree circumpolari, effettuando dei "salti" simili a quelli di una cavalletta da cui il nome di "grasshopper effect" (effetto cavalletta) dato a questo loro modo di diffondersi e concentrarsi (Wania, 2003). Nelle zone di accumulo possono entrare nella catena alimentare con effetti di magnificazione; si possono quindi rilevare elevate concentrazioni di essi in aree remote, ad esempio nel grasso di foche ed orsi artici e financo nei liquidi organici degli Inuit (Laird et al., 2013). (non affermo che i valligiani siano come gli Inuit, però potrebbero esserlo....)

#### La composizione chimica dei Laghi di Colbricon: confronti e variazioni temporali

Le concentrazioni medie dei componenti chimici principali nei Laghetti di Colbricon rientrano nell'ambito dei valori usuali per corpi idrici su substrato a rocce silicatiche e si differenziano nettamente rispetto a quelle dei laghi di ambito calcareo dell'area dolomitica (Tab. 6.2).

Dalla tabella precedente è evidente come le concentrazioni di calcio, magnesio, ed alcalinità dei laghi su substrato a porfidi siano molto inferiori rispetto a quelle del Lago Coldai, situato nel non lontano gruppo dolomitico del M. Civetta, e che si può considerare un rappresentante tipico dei laghi d'alta montagna su substrato a calcari-dolomie (la dolomia è un carbonato di calcio e magnesio). Il pH di quest'ultimo (campionato in luglio e si vedrà in seguito il significato di questo dato) era molto elevato, tale da provocare la precipitazione del carbonato di calcio; in termini tecnici le sue acque erano "incrostanti". A causa delle concentrazioni molto minori di calcio nei Laghi di Colbricon queste condizioni non sono generalmente

Tab. 6.2 Confronto tra le composizioni chimiche medie del Lago CS, Lago Coldai (Prov. Belluno), Lago Moregna, Lago Giuribrutto, Lago di S. Pellegrino nel periodo lugliosettembre 1990. Prelievi alla superficie. Dati archivio Decet F.

		L. Colbricon sup. (1927 m)	L. Moregna (2081 m)	L. Giuribrutto (2200 m)	L. Coldai (2140 m)	L. S. Pellegrino (1886 m)
Substrato		porfidi	porfidi	porfidi	calcari-dolomie	Gessi-calcari
Data prelievo		11.9.1990	16.9.1990	29.8.1990	5.7.1990	18.8.1990
рН	_	8,42	8,54	7,22	8,56	7,90
Conducibilità 20°C	uS/cm	44	29	39	140	870
Cloruro	Cl- mg/l	0,42	0,30	0,10	0,22	0,98
Nitrato	NO <sub>3</sub> mg/l	0,02	0,15	0,02	0,30	0,51
Sofato	SO <sub>4</sub> mg/l	2,8	2,1	1,8	0,86	506
Alcalinità	HCO <sub>3</sub> mg/l	24	15	20	96	67
Calcio	Ca <sup>++</sup> mg/l	8,0	4,2	7,0	18	180
Magnesio	Mg <sup>++</sup> mg/l	0,20	0,20	0,36	9,3	24
Sodio	Na+ mg/l	0,80	1,0	0.88	0,14	2,4
Potassio	K+ mg/l	0,16	0,18	0,14	0,15	0,67
Silicio	Si mg/l	0,82	1,0	-	0,03	-
Stronzio	Sr ug/l	16	13	15	8	1100

raggiunte e le loro acque si possono definire "aggressive", cioè in grado di sciogliere del carbonato di calcio eventualmente presente<sup>3</sup>. Sodio e potassio nel Lago Coldai non risentono in modo significativo né di apporti antropici né di cessioni da parte del substrato geologico ed il loro rapporto in peso (pari ad 1,57) è praticamente quello riscontrato nella loro fonte comune, l'acqua oceanica. Il vicino Lago di S. Pellegrino si distacca da tutti gli altri in quanto riceve apporti da terreni a gessi (solfato di calcio) molto più solubili dei calcari, e ciò dà ragione delle elevate concentrazioni di solfati, calcio e stronzio. Quest'ultimo elemento, che per inciso è il 15° in ordine di abbondanza della crosta terrestre ed il quinto-sesto nelle acque superficiali, presenta concentrazioni molto diverse nei differenti tipi di rocce sedimentarie e di conseguenza nelle acque che da esse originano, cosa che lo rende un utile indicatore della provenienza delle acque naturali. Infine si può notare che i tre laghi su substrato siliceo, pur essendo molto vicini spazialmente, presentano ciascuno un profilo chimico riconoscibile,

	Unità	Colbricon sup.	Colbricon inf.	CV Colbricon sup.	CV Colbricon inf.
pH	-	7,36	7,37	-	-
Conducibilità	uS/20°C	46	42	5,6	8,1
Bicarbonato HCO <sub>3</sub>	mg/l	27	26	5,9	13
Cloruro Cl-	mg/l	0,35	0,34	11	14
Nitrato NO <sub>3</sub>	mg/l	0,56	0,49	7,5	6,8
Solfato SO <sub>4</sub>	mg/l	1,60	1,45	13	26
Ammonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,06	0,04	-	-
Calcio Ca++	mg/l	8,5	8,2	6,5	9,8
Magnesio Mg++	mg/l	0,31	0,27	5,0	6,2
Sodio Na <sup>+</sup>	mg/l	0,80	0,85	4,6	3,3
Potassio K+	mg/l	0,24	0,19	2,5	12
Fosforo reattivo	ug/l	2	4	-	-
Fosforo totale	ug/l	10	12	-	-
Azoto totale	mg/l	0,38	0,46	-	-
Silicio	mg/l	0,82	1,26	18	11
Carbonio organico totale	mg/l	2,60	2,40	_	-

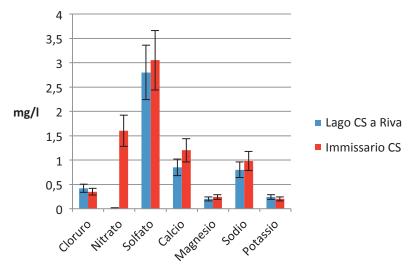
La solubilità dello ione calcio è funzione della radice cubica della pressione parziale di CO<sub>2</sub> in soluzione (pCO<sub>2</sub>): (Ca<sup>++</sup>) = K \*(pCO<sub>2</sub>)<sup>1/3</sup>. Se la pCO<sub>2</sub> è quella media atmosferica (10<sup>-3,5</sup> atm), la calcite (CaCO<sub>3</sub>) è in equilibrio con circa 20 mg/l di Calcio disciolto e con un pH di 8,3; questi sono valori tipici per le sorgenti in aree non contaminate a calcari. L'equazione di cui sopra ha conseguenze contro-intuitive. Ad esempio miscelando due acque ciascuna in equilibrio con la calcite si può ottenere una soluzione NON in equilibrio e che quindi può o meno dare un precipitato di CaCO<sub>3</sub> (Drever, 1988).

Tab. 6.3

Valori mediani dei componenti chimici principali nei Laghi di Colbricon Superiore e Inferiore relativi ai campionamenti biennali dal 2000 al 2013. Fonte: CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania. Nelle ultime due colonne è riportato per i componenti principali il coefficiente di variazione (CV) calcolato sulla base delle medie annuali; è il rapporto percentuale tra la deviazione standard ed il valore medio, e dà una misura della dispersione dei dati. Per fosforo reattivo si intende sostanzialmente l'insieme delle specie inorganiche in soluzione dello ione fosfato (le principali sono H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, HPO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> analizzate in condizioni standard; per fosfato totale la somma del precedente e del fosforo sotto forma organica in determinate condizioni analitiche; per azoto totale la somma dei composti inorganici di azoto (NO3, NO2, NH, +) e di quelli organici in condizioni analitiche standard4

Confronto tra la composizione dell'acqua in entrata ed uscita dal Lago CS, prelievo del 11 agosto 1990. Le concentrazioni sono in mg/l eccetto per lo ione calcio per il quale sono state ridotte di 10 volte per motivi di scala. La concentrazione dello ione nitrato rilevata nel Lago CS è di 0,017 mg/ NO<sub>3</sub>. Le barre sono una stima dell'errore analitico.

Fig. 6.4



conseguenza dei molti fattori in gioco citati nell'introduzione e che fanno sì che ogni corpo lacustre abbia una propria individualità.

Le variazioni inter-annuali delle concentrazioni dei componenti principali dei Laghi di Colbricon sono modeste, dell'ordine o poco superiori all'errore analitico (Tab. 6.3). La conducibilità, indicatore del totale di ioni presenti, oscilla tra i 41 e 50 uS/cm, in media 46. La variazione del livello delle acque, nel periodo libero dai ghiacci, è in media di circa 10 cm/anno. La concentrazione del sodio nei laghi in esame è sostanzialmente uguale a quella dell'immissario (Fig. 6.4) e di circa 4 volte superiore a quella delle deposizioni umide (Fig. 6.3). Da tutto questo si può dedurre che gli apporti meteorici diretti non contribuiscono in modo rilevante agli afflussi.

La situazione è differente se si considerano le specie non conservative (sono tali ad esempio fosforo, silicio, nitrato, specie che possono esser assimilate da biomasse, come si vedrà in seguito) in ambiti temporali stagionali. Un caso esemplare è offerto dal nitrato la cui concentrazione mediana nei Laghi di Colbricon è circa un terzo rispetto a quella dell'immissario (Tab. 6.2, Fig. 6.3) e nel periodo estivo si riduce ulteriormente (Fig. 6.2). Il nitrato naturalmente non sparisce, ma si trasforma in altri composti. L'a-

Il carbonio totale, TOC, è costituito essenzialmente dalle biomasse e dagli acidi umici. Questi ultimi, comprendendo in questa dizione anche gli acidi fulvici, sono una serie complessa di composti di peso molecolare attorno a 1000 (ma variabile tra 300 e 30000; una molecola di acido umico di peso molecolare 1000 è circa 5 volte più pesante di una di glucosio e 60 volte più di una di acqua). Hanno un ruolo importante nella formazione di complessi con ioni metallici e come scambiatori ionici. Se presenti in quantità dell'ordine dei milligrammi/ litro impartiscono un colore giallino all'acqua, che su spessori di qualche metro dà una impressione di acque nerastre, scure, giustificando il nome di "lago Nero", "Schwarzer See" dato loro con una certa frequenza. Gli acidi umici nei laghetti alpini su substrati calcarei presentano concentrazioni molto basse, e le acque relative sono in genere trasparenti, perché l'elevata concentrazione di calcio e magnesio li fa coagulare e sedimentare.

zoto totale presente nei Laghi di Colbricon è sostanzialmente uguale, a meno dell'errore analitico, a quello presente nell'immissario, dove è presente essenzialmente sotto la forma di nitrato: il valore di 0,38 mg di azoto totale rilevato nel Lago CS corrisponde a 1,6 mg di nitrato, concentrazione effettivamente rilevata nell'immissario (Tab. 6.3)<sup>5</sup>. Quali siano le cause di tutto ciò sarà oggetto del prossimo paragrafo.

#### Il sole, le biomasse e la composizione chimica dei laghi

Per comprendere gli andamenti stagionali delle specie non conservative è necessario allargare di molto il campo degli influssi esterni, fin qui limitato agli oceani, agli apporti antropici ed al trasporto atmosferico su lunga distanza e considerare la nostra stella, il sole, e la sua azione mediata dalle alghe, agenti fondamentali dell'ecosistema lacustre, ed a buona ragione quindi oggetto di ampio esame in altra parte di questo volume. Un modo sintetico per illustrare la modalità di questa interazione è fornita dall' eq. 5) che può esser resa nel modo seguente: le alghe e le piante verdi trasformano anidride carbonica, ioni idrogeno, acqua e nutrienti (fosfati e nitrati, ma anche oligoelementi essenziali come ferro etc.) in biomasse, liberando nel contempo ossigeno ed utilizzando come fonte energetica l'energia solare (Stumm *et al.*, 1981):

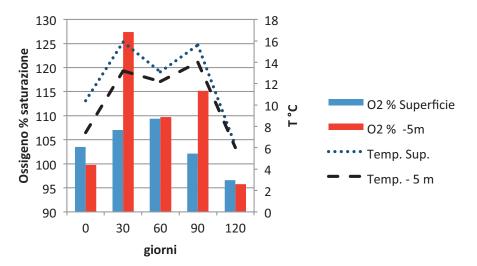
$$106 \,\mathrm{CO_2} + 16 \,\mathrm{NO_3}^- + \mathrm{HPO_4}^- + 122 \,\mathrm{H_2O} + 18 \,\mathrm{H}^+ = \mathrm{C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P} + 138 \,\mathrm{O_2(5)}$$

La produzione di ossigeno è osservabile ad occhio nudo: in una giornata di sole le foglie sommerse delle piante acquatiche si ricoprono di bollicine di questo gas, segno che si è superato il valore della sua solubilità in acqua. Di notte ha luogo solo la reazione inversa alla (5), indicata col nome di respirazione. Come conseguenza del concorso tra fotosintesi e respirazione la concentrazione dell'ossigeno nelle acque presenta una oscillazione giornaliera con minimi prima dell'alba e massimi nel primo pomeriggio (poiché la concentrazione dell'ossigeno è un parametro di legge nella valutazione dei corpi lacustri questo fatto introduce un fattore di incertezza non sempre trascurabile). L'eq. 5) consente di interpretare l'andamento delle concentrazioni dell'ossigeno nei Laghi di Colbricon sia nel tempo che in funzione della profondità (Figg. 6.5-6.6).

La Fig. 6.5 illustra come l'andamento dei valori di saturazione dell'ossigeno sia correlato a quello della temperatura dell'acqua (e quindi all'intensità della radiazione solare, "motore" della fotosintesi) e raggiungano un massimo in profondità, nella zona cosiddetta eufotica o di maggior produzione primaria. Proseguendo verso il fondo l'ossigeno in genere diminuisce, a seguito

In genere è osservabile anche una diminuzione dello ione solfato, ridotto da batteri a solfuro sia nel sedimento che nello strato anossico della colonna d'acqua, in un processo che contribuisce all'aumento dell'alcalinità del lago (Schindler, 1988). Ha luogo anche il processo inverso, l'ossidazione mediata da batteri di solfuro a solfato. Le reazioni coinvolgono anche altri composti solforati, come zolfo elementare, solfito, tiosolfato etc. (Wetzel, 1983).

Fig. 6.5
Andamento del grado di saturazione percentuale di ossigeno e della temperatura superficiale nel Lago CS alla superficie ed a 5 m di profondità nel periodo 24 maggio - 25 ottobre 2000. Il grado di saturazione percentuale di ossigeno è dato dal rapporto tra la quantità di ossigeno disciolto in acqua rispetto al suo valore teorico, alla temperatura e pressione atmosferiche del sito in esame. Dati IASMA.



del prevalere delle reazioni di distruzione della sostanza organica. In almeno una occasione sono stati misurati nel Lago CS valori di ossigeno al fondo prossimi allo zero, cioè condizioni di quasi "anossia", accompagnate da variazioni concomitanti del pH e dell'ammonio (Figg. 6.6-6.7).

Questi dati si possono interpretare considerando in dettaglio i dati relativi ai prelievi dell'agosto 1998 (Tab. 6.4). In quella occasione alla superficie, per effetto della fotosintesi, l'ossigeno superava il valore di saturazione ed il pH era nettamente basico. Al contrario, a causa della respirazione, al fondo l'ossigeno era quasi zero, il pH leggermente acido ed inoltre vi erano concentrazioni notevoli di ammoniaca (originate dalla riduzione mediata dai batteri del nitrato), di BOD (parametro che misura la domanda biochimica di ossigeno, cioè la quantità teorica di sostanza organica ossidabile da parte dei batteri) e di fosfato totale. Dalle Figg. 6.6-6.7 si può inoltre rilevare come i valori di temperatura, pH, saturazione di ossigeno ed ammoniaca della superficie divergano nel periodo estivo, a causa della

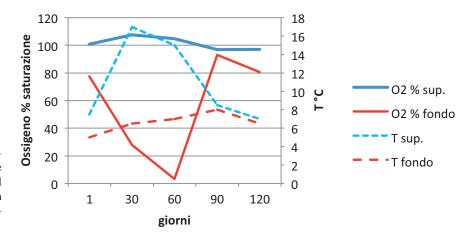


Fig. 6.6
Andamento del grado di saturazione percentuale di ossigeno e delle relative temperature dell'acqua nel Lago CS alla superficie ed a 10 m di profondità nel periodo maggioottobre 1998. Dati IASMA

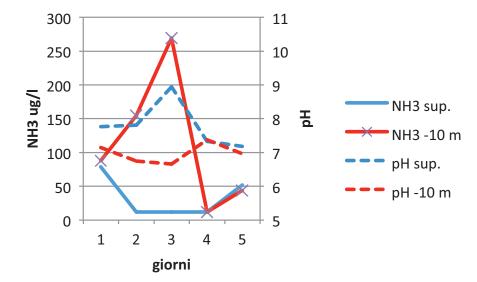


Fig. 6.7 Andamento dell'ammoniaca (NH3) e del pH nel periodo 20 maggio - 20 ottobre 1998 alla superficie ed a -10 m nel Lago CS, fonte IASMA

stratificazione estiva e convergano a maggio ed ottobre, per effetto del rimescolamento delle acque del lago.

Dall'eq. 5) si può dedurre che le trasformazioni di nutrienti in biomasse e viceversa avvengano in modo ciclico. Nel caso dei composti dell'azoto questi processi meritano un esame più ravvicinato in modo da comprendere meglio quanto detto finora. Come punto di partenza si può considerare il nitrato, la forma dell'azoto prevalente nell'immissario, e la sua assimilazione da parte di alghe e piante. In seguito il metabolismo degli organismi e – post mortem – la loro decomposizione, libera ammonio (NH, +), il quale nello stato aerobico del lago può essere sia assimilato come tale dagli organismi, oppure riossidato con l'ausilio di batteri a nitrito (NO<sub>2</sub>) e successivamente a nitrato. Nel comparto anaerobico, in sostanza nello strato di fondo del lago, la sostanza organica viene in parte decomposta da batteri ed in questa fase i composti azotati sono ridotti ancora ad ammonio (il che spiega il suo aumento al fondo visto in Fig. 6.7 e Tab. 6.3). Quest'ultimo può esser assunto da organismi oppure ridotto ad azoto. Questo gas è un componente normale delle acque dei laghi – 1 l di acqua a 10 °C ed 1 atm ne contiene a saturazione circa 15 mg – e può esser assimilato nello strato

	Superficie	-10 m
Temperatura acqua	15	7
Ossigeno disciolto mg/l	8,43	0,27
Saturazione di ossigeno %	110	3
pH	8,94	6,66
BOD (mg O <sub>2</sub> /l)	<1	1,98
Ammonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ug/l	<25	269
Fosforo totale ug/l	8	26

Tab. 6.4 pH e valori di alcuni indicatori chimici alla superficie ed in prossimità del fondo del Lago CS. Prelievo dell'agosto 1998, dati IASMA.

aerobico da cianoprocarioti (alghe blu) e batteri azotofissatori. La materia organica residua sedimenta al fondo ove viene degradata con liberazione di nutrienti i quali sono scambiati con la colonna d'acqua sovrastante (Wetzel, 1983; Schwoerbel, 1999). L'accumulo progressivo dei sedimenti porterà alla fine alla colmatura del lago, la cui esistenza, misurata su scala geologica, si può considerare effimera.

#### Fosforo ed eutrofia

Si potrebbe parafrasare la frase del Moleschott "Ohne Phosphor keine Gedanken- senza fosforo nessun pensiero", con "senza fosforo nessuna alga". In base all'eq. (5) si può prevedere che un eccesso di nutrienti (fosfati e nitrati, etc.) comporterà un rigoglioso aumento della produzione primaria. Questa condizione, auspicabile in un orto, lo è assai meno in un lago, dove può portare a masse algali fluttuanti ed anossia sul fondo; si dirà allora che il lago è "eutrofizzato". Ancora sulla scorta dell'eq. (5) si ricava che il rapporto Fosforo/Azoto nella biomassa è pari a 1:16. Se anche vi fossero il doppio di atomi di azoto sotto forma di nitrato, restando identico quelli di fosforo la quantità di prodotto non cambierebbe: la produzione è determinata dall'elemento presente con il rapporto minore, secondo la vecchia regola del mastello di Liebig<sup>6</sup>. In molti casi il fosforo è l'elemento limitante (ma non sempre, può esserlo l'azoto) e per questo la sua concentrazione viene utilizzata per stimare la produttività di un corpo lacustre. Nei Laghi di Colbricon il rapporto Azoto totale / Fosforo totale mediano (anni 2000-2013) è pari a 51, e quindi il fosforo è in questi casi realmente limitante. Le quantità in gioco sono tuttavia molto piccole, in media 10 parti di fosforo totale su un miliardo di parti di acqua, il che significa che il Lago CS ne contiene circa 1 Kg, a fronte di circa 2 kg di ferro, 1000 di calcio e 300 di carbonio organico. Come per l'ossigeno ed i nitrati anche le concentrazioni del fosforo totale variano in funzione della profondità e del periodo dell'anno. Anche in questo caso le concentrazioni di fosforo totale del fondo e della superficie divergono nel periodo estivo, a causa della stratificazione estiva, e convergono a maggio ed ottobre, per effetto del rimescolamento delle acque del lago che ha luogo in primavera ed autunno (Fig. 6.7)<sup>7</sup>.

Un esempio può illustrare come piccole quantità di fosforo possano consentire la formazione di elevati quantitativi di biomassa. In media in 500 parti di alghe tal quale il rapporto degli elementi fosforo, azoto, carbonio corrisponde a 1P:7N:40C: 500. In teoria quindi un dato peso di fosforo potrebbe generare 500 volte il suo peso in alghe (Wetzel, 1983). Affidandosi alla numerologia si potrebbe calcolare che nel caso del Lago CS 1kg di Fosforo totale potrebbe generare 500 kg di alghe, circa 4 mg/l.

La stratificazione ed il rimescolamento possono assumere in alcuni laghi profondi di origine vulcanica aspetti grandiosi ed anche terribili. Nel 1986 il Lago Nyos nel Camerun liberò improvvisamente una enorme quantità di CO<sub>2</sub> fino ad allora intrappolata negli strati profondi portando a morte quasi 2000 abitanti rivieraschi. Anche lo strato profondo del Lago Kivu (Rep. Dem. Congo) presenta elevatissime concentrazioni di CO<sub>2</sub> (Freeth *et al.*, 201, 1990).

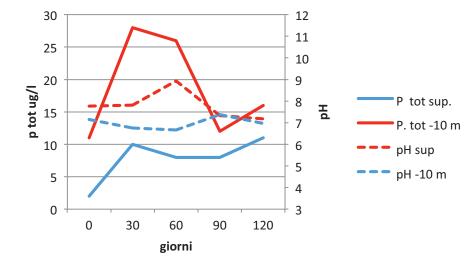


Fig. 6.8
Andamento del fosforo totale (P tot) e del pH nel periodo 20 maggio - 20 ottobre 1998 alla superficie ed a -10 m nel Lago CS. Fonte IASMA

#### Gli elementi in traccia

Finora ci si è concentrati sulle specie chimiche presenti in genere a concentrazioni dell'ordine dei milligrammi per litro, i cosiddetti componenti principali. Tuttavia nelle acque dei laghetti si possono rilevare sostanzialmente tutti gli elementi chimici, una novantina in tutto (Tab. 6.5)8. La loro concentrazione dipende largamente dalla solubilità dei rispettivi composti (per lo più idrossidi, carbonati, fosfati e solfuri) e soprattutto dalle reazioni di adsorbimento su fase solida (Stumm et al., 1981). A questo proposito è importante il ciclo svolto dal ferro e dal manganese nel bacino lacustre. Questi elementi, sono presenti nei sedimenti come ioni bivalenti, piuttosto solubili, i quali sono ceduti alla colonna d'acqua sovrastante ove possono raggiungere anche concentrazioni elevate. Sono quindi ossidati dall'ossigeno senza (per il ferro) o con la mediazione batterica (per il manganese; senza la mediazione batterica l'ossidazione comporterebbe tempi di qualche centinaia di anni) a composti insolubili che precipitano sotto forma di colloidi i quali adsorbono sulla loro superficie altri elementi in traccia come rame, cobalto, zinco, etc. In questo loro ciclo agiscono quindi sostanzialmente da "spazzini" (Hamilton-Taylor et al., 1995). Dalla Tab. 6.5 si può rilevare come le concentrazioni di Bario, Boro e Stronzio nel Lago di Garda siano di circa un ordine di grandezza superiori a quelle rilevate nei nostri due laghi. Bario e Stronzio sono elementi poco presenti nelle rocce vulcaniche rispetto ai calcari e dolomie, tipologie queste ultime ben presenti nel bacino che alimenta il Garda. Il Boro, a differenza degli elementi

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Ciascuno di questi elementi è a sua volta presente, in genere, con più isotopi, vale a dire con atomi di stesse proprietà chimiche ma di peso atomico diverso. Notevole è il caso del carbonio, la cui forma dominante è l'isotopo di peso atomico 12, accompagnato da tracce di quelli di peso 13 e 14. È ben noto l'uso di quest'ultimo per la datazione delle carote di sedimento lacustre, unitamente al Cs-137 (legato all'incidente di Chernobyl nel 1986) ed al Pb-210, generato per decadimento del Radon (Roberts, 1989; Gat, 1995).

Elemento	Concentrazione µg/l Colbricon sup.	Concentrazione µg/l Colbricon inf.	Concentrazione µg/l L. Garda (-100m)
Alluminio, Al	36,0	41,6	2
Arsenico, As	3,1	2,8	1
Boro, B	3,0	3,2	20
Bario, Ba	1,9	1,9	34
Cadmio, Cd	<1	<1	<0,1
Cobalto, Co	0,1	0,1	0,1
Cromo, Cr	0,1	0,1	<1
Rame, Cu	1,1	0,5	<0,5
Ferro, Fe	20,9	12,9	-
Litio, Li	<1	<1	2,7
Manganese, Mn	5,1	0,9	0,3
Nichel, Ni	0,7	0,5	-
Piombo, Pb	<1	<1	<0,1
Platino, Pt	<1	<1	-
Selenio, Se	2,9	3,5	-
Stronzio, Sr	12,5	10,6	128
Tallio, Tl	<1	<1	<0,1
Vanadio, V	4,6	3,8	0,7
Zinco, Zn	13	5,9	1

**Tab. 6.5**Concentrazioni di alcuni elementi chimici presenti in tracce nei Laghetti di Colbricon. Dati CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania. Per confronto sono stati aggiunti i valori rilevati nel L. Garda (Gerotto *et al.* 1999).

appena citati, può derivare anche da fonti antropiche e la sua più elevata concentrazione nel Benaco può indicare apporti di natura civile.

#### Conclusioni

I Laghetti di Colbricon, come tutti i laghi, sono dei sistemi aperti che scambiano energia e materia con il loro intorno, che può essere remoto nello spazio (come il sole) o nel tempo (le rocce che li circondano). Sono il campo di un sistema complesso di interazioni tra comunità viventi e abiotiche. Dall'insieme delle analisi emerge un dato essenziale, quello dell' interdipendenza del sistema lago con il loro intorno più esteso, con l'universo. Noi non siamo esterni ed indipendenti da questi cicli, ma ne siamo parte integrante. È noto da tempi remoti come la contemplazione di distese imponenti come quelle che si vedono dai Laghetti di Colbricon possa far sorgere nell'osservatore un senso di consapevolezza e di unità (Guardini, 1950). La divulgazione degli aspetti scientifici non impedisce affatto di salire a questo piano, differente ma non in opposizione; crediamo anzi che possa essere di stimolo nel ricercare queste esperienze ed antidoto nei confronti di scivolamenti nel sentimentalismo e nell'estetismo.

## Capitolo VII Parametri biotici

I parametri o fattori abiotici, che abbiamo visto nei capitoli precedenti, sono i componenti di un ecosistema che non hanno vita. Si tratta quindi dell'ambiente circostante: luce, rocce, acqua, aria e l'insieme dei fattori climatici etc.

Con parametri biotici intendiamo tutte le comunità biologiche che vivono nel bacino lacustre, queste appartengono a vari gruppi: animali, insetti, uccelli, pesci, crostacei, batteri e tutte le forme di vita vegetale: alghe planctoniche, cianobatteri, macrofite, macroalghe, zooplancton, invertebrati, vertebrati: pesci, anfibi e uccelli. Inoltre le strutture morfologiche e fisiche del lago permettono di identificare zone specifiche caratterizzate da differenze nelle caratteristiche fisiche e chimiche tali da influenzare la struttura biologica (composizione e funzioni degli organismi) di un lago.

Zona litorale: porzione di lago dove i sedimenti ricevono luce sufficiente per la crescita di macrofite.

Zona pelagica (o lacustre, limnetica): la regione di acqua libera, oltre la zona litorale.

Nella Fig. 7.1 sono riportati i principali tipi di comunità che si possono riconoscere in un lago e schematicamente alcune metodiche di raccolta dei campioni. Per esempio con plancton (dal greco πλαγκτόν, ossia vagabondo) intendiamo il complesso di organismi acquatici galleggianti che, non essendo in grado di dirigere attivamente il loro movimento (almeno in senso orizzontale), vengono trasportati passivamente dalle correnti e dal moto ondoso. Il plancton comprende sia organismi vegetali (fitoplancton e picoplancton) che animali (zooplancton) di varie dimensioni, microorganismi (alghe unicellulari, protozoi, etc.), larve, piccoli animali (come i crostacei), ma anche organismi di una certa mole come le alghe pluricellulari o macroalghe. Per queste sue caratteristiche, il plancton si distingue dal necton, il complesso di organismi viventi nella colonna d'acqua e dotati di nuoto attivo (pesci), dal benthos, costituito dagli organismi abitanti i fondali e con i quali mantengono uno stretto rapporto di carattere trofico. Pleuston comprende organismi specializzati, adattati all'interfaccia acqua-aria. Infine il Perifiton è formato da microrganismi vegetali che vivono e crescono adesi a diversi substrati: alghe epipeliche su detrito fine, quale limo o argilla; alghe epilitiche su sassi; alghe epifitiche su piante acquatiche; alghe epipsammiche su sabbia; alghe epizooiche su animali in senso lato.

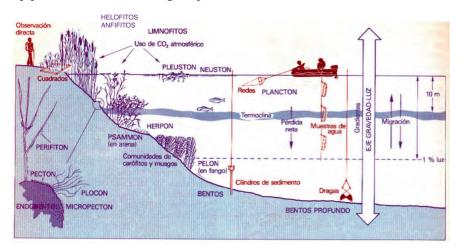


Fig. 7.1 Principali tipi di comunità che si possono riconoscere in un lago e metodiche di raccolta dei campioni (Margalf, 1983).

#### Protozoi "piccoli ed invisibili"

#### Chi sono?

I protozoi sono gli animali più piccoli e più semplici, formati da una sola cellula. Si nutrono di alghe, detrito e batteri.

Gli organismi vegetali microscopici sono le alghe. Questi vegetali invisibili ad occhio nudo costituiscono il fitoplancton e, negli ecosistemi acquatici, il loro compito è quello di catturare l'energia solare e trasformarla in sostanza organica, attraverso la fotosintesi clorofilliana.

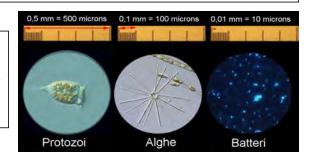
Alla base della catena alimentare ci sono i batteri, ancora più piccoli delle alghe. Sono capaci di riciclare la sostanza organica morta (detrito, frammenti di organismi, feci) trasformandola in altra sostanza organica commestibile per protozoi e zooplancton. Alcuni batteri (i cianobatteri) fanno la fotosintesi come le alghe.

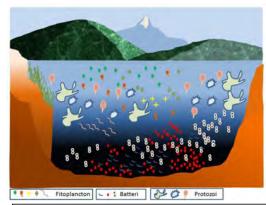
#### Che dimensioni hanno?

I protozoi hanno dimensioni variabili da 5 a 500 micron (millesimi di mm).

Il fitoplancton ha forme molto variabili e dimensioni che vanno da pochi micron a qualche centinaio di micron.

I batteri hanno dimensioni di 1-3 micron.





#### Dove si trovano?

I protozoi, che si nutrono di alghe e batteri, stanno dove si trovano le loro prede, quindi principalmente vicino alle rive e nei primi 10 m d'acqua.

Il fitoplancton vive nello strato superiore della colonna d'acqua, fino a dove arriva la radiazione solare, che permette lo svolgimento della fotosintesi.

I batteri si trovano a tutte le profondità, ma sono particolarmente abbondanti nei sedimenti, dove si accumula la sostanza organica della quale si nutrono.

#### Quanti sono?

Tantissimi. In un litro d'acqua di lago ci sono circa diecimila protozoi, un milione di alghe del fitoplancton, un miliardo di batteri.

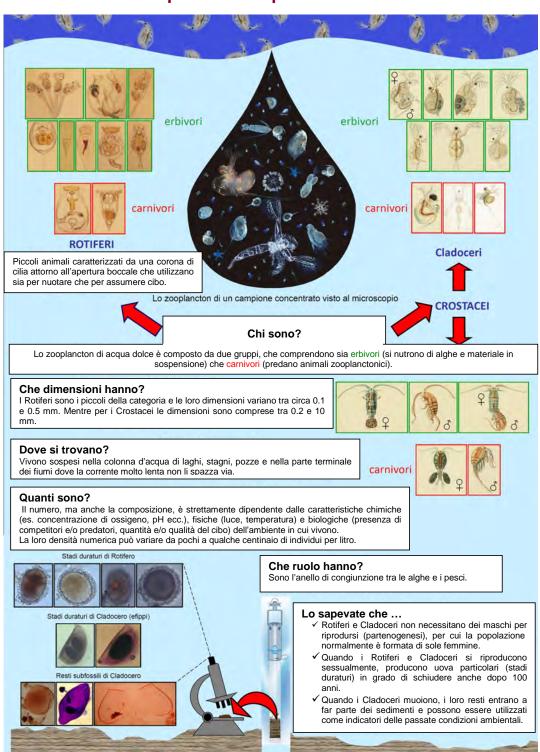
#### Che ruolo hanno?

Il fitoplancton, utilizzando l'energia solare, attraverso la fotosintesi costruisce nuove sostanze organiche che serviranno da nutrimento agli organismi più grandi. I protozoi, che si cibano di batteri e di alghe, saranno poi insieme alle alghe cibo per lo zooplancton. Il fitoplancton rappresenta, quindi, il primo anello della rete alimentare lacustre.

I batteri consumano tutti i residui degli organismi più grossi di loro e sono capaci di utilizzare sostanze organiche e minerali per costruire nuove cellule batteriche. In questo modo tutto ciò che è morto e scartato viene riciclato e torna nella catena alimentare.



#### Zooplancton "meno piccoli... ma buoni"

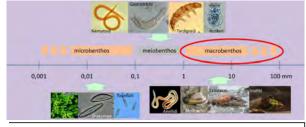


#### Macroinvetebrati "piccoli o grandi... ma essenziali"

I macroinvertebrati (o macrobenthos), sono animali di piccole dimensioni, ma visibili ad occhio nudo. Comprendono numerosi gruppi molto diversi fra loro: molluschi, vermi, insetti, sanguisughe, crostacei, e altri ancora.

#### Che dimensioni hanno?

La variabilità nella taglia di questi organismi copre alcuni ordini di grandezza a partire dal millimetro.



# To a state of the state of the

#### Dove si trovano?

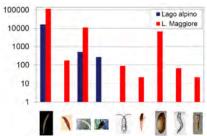
Vivono a contatto con il fondo dei laghi e dei corsi d'acqua, almeno per una parte del loro ciclo vitale (Insetti). Nei laghi, questa zona, si chiama bentonica e l'intera comunità è definita benthos. Alcuni di loro però vivono a contatto con la superficie dell'acqua e costituiscono il neuston (larve di zanzare, insetti pattinatori).



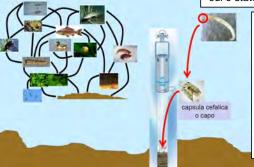


#### Quanti sono?

Il loro numero e la loro densità varia passando dai piccoli laghi alpini ai grandi laghi profondi. In questi ultimi varia con la profondità, in funzione delle condizioni di ossigenazione delle acque e della presenza di sostanza organica, principale fonte di cibo. I macroinvertebrati sono ottimi indicatori della qualità delle acque: saranno quindi presenti in maggiori quantità e rappresentati da una maggior diversità dove la qualità è migliore... ma fai attenzione a confrontare ambienti simili tra loro!



1) Finché sono vivi, sono fonte di nutrimento per pesci, anfibi, uccelli, crostacei e, gli organismi più piccoli, per quelli più grandi. 2) Quando muoiono, i loro resti entrano a far parte dei sedimenti. In particolare, le capsule cefaliche dei chironomidi si conservano per centinaia di anni e forniscono utili indicazioni sull'evoluzione dello stato ecologico di un ambiente o sui cambiamenti climatici a cui è stato sottoposto.



#### Lo sapevate che...

- ✓ I vermi oligocheti sono gli unici fra i macroinvertebrati in grado di rigenerare parti del corpo perdute o danneggiate, come le lucertole e le stelle marine:
- ✓ gli stessi vermi producono cocoon (bozzoli) contenenti uova (come gli squali), da cui esce un individuo del tutto simile all'adulto, ma più piccolo.



#### Macrofite "un rifugio per tutti"

Le macrofite o piante acquatiche sono costituite da diversi gruppi di piante macroscopicamente visibili e legate all'acqua.











#### Che dimensioni hanno?

La taglia è estremamente variabile da pochi centimetri ad alcuni metri.

#### Dove si trovano?

Lungo i litorali dei laghi. Esse vengono classificate in funzione dell'habitat in cui vivono:

#### Piante radicate

- Emergenti (Cannuccia di palude, Tifa, Erba saetta, Lisca lacustre, Piantaggine d'acqua)
- Con foglie flottanti (Ninfea, Castagna d'acqua)
- Sommerse (Miriofillo, Potamogeto, Ceratofillo, muschi)

#### Piante liberamente flottanti

 Lenticchia d'acqua, Erba pesce, Giacinto d'acqua



#### Quante sono?

Il loro numero e la loro densità varia in funzione della quantità e qualità dell'acqua, da poche unità in laghi alpini di alta quota a decine di unità per metro quadro sul litorale di un lago poco profondo.



**Epifiton** (misto di alghe, funghi, batteri e detrito) su Miriofillo. L'epifiton costituisce una risorsa di cibo per una grande varietà di animali acquatici.

#### Che ruolo hanno?

Le piante acquatiche giocano un ruolo importante nel fornire:

- un habitat rifugio ai macroinvertebrati e ai pesci che sfuggono ai loro predatori;
- un riparo per gli uccelli che trovano cibo e un luogo sicuro dove nidificare:
- il mantenimento degli equilibri ecologici (ossigenazione dell'acqua, assorbimento di nutrienti, sequestro di sostanze tossiche).



#### Pesci "i giganti del lago"

#### Chi sono?

I pesci sono vertebrati acquatici in grado di ricavare l'ossigeno dall'acqua mediante le branchie. Il loro corpo per lo più rivestito da scaglie è dotato di pinne per il nuoto. Comprendono diversi ordini, famiglie, generi e specie, caratterizzati da morfologia e comportamento molto differenti.

#### Che dimensioni hanno?

La taglia può variare da alcuni cm fin oltre i due metri di lunghezza.



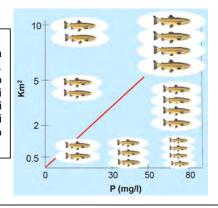


#### Dove si trovano

Appartengono al *Necton* (ovvero la categoria ecologica comprendente tutte quelle specie di animali in grado di nuotare e di spostarsi attivamente vincendo le forze della correnti). Vivono in laghi, fiumi, torrenti, canali, stagni e risorgive. Nei laghi popolano svariate tipologie di habitat, dalla zona litorale ricca di vegetazione, a quella profonda e scarsamente illuminata; dalla zona pelagica di acque aperte a quella di foce.

#### Quanti sono?

L'abbondanza e le dimensioni variano in relazione alla tipologia del corpo idrico e alla quantità di cibo disponibile. Laghi grandi ma poco produttivi (poco fosforo) ospitano tante specie ma pochi pesci. Laghi piccoli e molto produttivi (tanto fosforo) ospitano poche specie, ciascuna con molti individui. Laghi grandi e profondi hanno pesci di grandi dimensioni. Laghi piccoli e poco profondi hanno generalmente pesci di dimensioni minori.



# 8

#### Che ruolo hanno?

I pesci fanno parte della catena alimentare acquatica. Si cibano degli organismi ai livelli trofici inferiori e ne influenzano le dinamiche di popolazione. A seconda della tipologia di alimentazione si dividono in bentofagi (si nutrono di organismi che vivono in prevalenza sul fondo lacustre), zooplantofagi (si nutrono di zooplancton), ittiofagi (mangiano altri pesci).



## **Indagine Microbiologica**

E. Vendramin, A. Cagnazzo, C. Donà, D. Mozzo, S. Alberghini, V. Corich, R. Trevisan., A. Squartini

Pochissimi batteri possono essere studiati con tecniche di microbiologia convenzionale. Una stima relativa al suolo suggerisce che solo lo 0.1-1% delle specie esistenti sarebbero coltivabili e moltiplicabili su terreni sintetici in laboratorio (Torsvik et al., 1990). Di conseguenza la microbiologia del pianeta terra è ancora quasi completamente sconosciuta all'uomo. Le poche migliaia di batteri descritti e classificati a fronte dei milioni di specie animali rappresentano un paradosso per la conoscenza, il numero di specie animali note alla scienza è infatti legato da una relazione di proporzionalità inversa alle dimensioni corporee. Ci si attenderebbe di conseguenza per i microrganismi una base di piramide di dimensioni adeguate. Ma poiché la conoscenza microbiologica tradizionale prevede l'isolamento in coltura pura e la moltiplicazione ex situ delle cellule, solo poche specie opportuniste adattabili a un habitat generico si sono prestate alla catalogazione. La rimanente maggioranza silenziosa dei microrganismi conduce una vita non scindibile dal proprio habitat, di ritmo lento e difficilmente osservabile, spesso in uno stato di quiescenza temporalmente non definibile. D'altronde l'attività sommersa dei microrganismi regola le trasformazioni della materia terrestre, il ciclo degli elementi, la eventuale biodecontaminazione e costituisce l'ossatura vivente di quel grande volano omeostatico che è il suolo, sottile interfaccia tra crosta ed atmosfera che rende possibile la vita sulle terre emerse. L'avanzamento delle conoscenze della microbiologia richiede pertanto il riempimento di una notevole lacuna attraverso metodi che consentano lo studio in situ anche di singole cellule quiescenti e senza richiederne la moltiplicazione. Grazie a metodi di recente introduzione la struttura di una comunità di viventi, a prescindere dalla coltivazione dei suoi componenti, può essere sondata analizzando molecole-firma come l'RNA ribosomale 16S o il DNA corrispondente (Woese et al., 1983; Olsen et al., 1986). A livello di singolo individuo questo acido nucleico, oggi facilmente amplificabile con la reazione a catena della DNA polimerasi (PCR), contiene un livello informazionale la cui variabilità ricalca bene i limiti di definizione della specie, anche relativamente ai procarioti ove tale rango tassonomico presenta non poche difficoltà interpretative. L'attuale versione dell'albero genealogico dei viventi è proprio basata sulla comparazione per allineamento delle sequenze di questa zona. Questa sequenza rappresenta quindi il messaggio a tutt'oggi più indicativo della identità di una specie. È disponibile una crescente banca dati (Olsen et al., 1991) la cui consultazione permette di verificare la corrispondenza di un isolato con specie note o, nel caso di marcata divergenza di sequenza, il suo status di probabile specie nuova. E anche in questo caso la relativa somiglianza a tratti

di sequenze di specie note permette comunque di tracciare la parentela con le stesse, e di collocare i casi nuovi nell'albero universale dei viventi a precisa distanza dai loro parenti più prossimi. Partendo perciò da una eterogenea situazione di numerose cellule di diverse specie presenti nel suolo è possibile estrarre il DNA totale dal campione, amplificare via PCR la regione suddetta del gene per l'RNA 16S, clonare i numerosi e diversi frammenti (tutti corrispondenti al DNA per il 16S ma originati da diversi batteri) in plasmidi da introdurre ciascuno in una cellula diversa di Escherichia coli per poi studiarli separatamente, esattamente come se si leggesse singolarmente a posteriori e da un archivio anagrafico vivente, la carta di identità di ciascun individuo che era presente nel suolo (Amann et al., 1995). La frequenza di sequenze uguali di un certo tipo indicherà inoltre quanto numerosa fosse ogni singola specie rispetto alle altre permettendo non solo di rilevare, senza bisogno di alcuna coltivazione, la presenza/assenza delle specie ma anche la loro abbondanza/dominanza. Approcci molecolari di questo genere sono stati applicati anche ad acque di lago (Bosshard et al., 1999). Esiste inoltre una ulteriore possibilità applicativa dello stesso principio che, con una semplice variante, può fornire anziché una dettagliata informazione analitica, una rapida visione sintetica della struttura della comunità. Eseguite la lisi e l'amplificazione dei frammenti 16S, anziché procedere al clonaggio dei singoli in E. coli, l'insieme additivo di molecole-firma degli individui di tale comunità può essere studiato come miscela eterogenea tramite digestione con endonucleasi restrittive (che riconoscono specifiche brevi sequenze del DNA), separazione elettroforetica e analisi del polimorfismo dei frammenti di restrizione. Il profilo ottenuto costituisce un marcatore che caratterizza la comunità stessa e riflette la numerosità delle popolazioni presenti. Si presta pertanto ad essere utilizzato quale indice di differenza tra più ambienti (rizosfere di piante diverse, suoli di associazioni vegetazionali differenti) o spia di instabilità dello stesso ambiente nel tempo. Quest'ultima funzione assume anche una importanza quale sensibile strumento di monitoraggio in programmi di analisi di impatto, tutela e conservazione dell'ambiente. Recentemente, alle tecniche sopradescritte si è aggiunta la possibilià di impiego di una metodica sperimentale, nuova nella sua applicazione alla microbiologia ambientale, quale la Elettroforesi su Gel in Gradiente Denaturante (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis). La D.G.G.E. consiste in un'elettroforesi ad alta temperatura (50-60°C) di frammenti di DNA in un gel di poliacrilamide contenente un gradiente lineare creato da composti denaturanti quali urea e formamide. In pratica la concentrazione di tali agenti, che indeboliscono l'integrità dei legami idrogeno del DNA, decresce linearmente dal fondo del gel verso l'alto, e rende denaturante in modo progressivo ogni punto del percorso elettroforetico. Il risultato è la possibilità di risolvere in bande separate anche frammenti di DNA uguali per lunghezza e peso molecolare che differiscano unicamente per sequenza nucleotidica. Nata per l'analisi di mutazioni in genetica umana, la tecnica ha solo recentemente guadagnato la scena nel settore dell'ecologia microbica grazie al lavoro pionieristico di Muyzer et al. (1993), ed è al momento considerata uno degli strumenti più promettenti per l'analisi della struttura e della composizione in specie delle comunità microbiche (Heuer & Smalla, 1997; Van Elsas et al., 1998; Ævreås et al., 1997). La sensibilità di rilevamento di questo approccio è determinata dal numero e dall'intensità delle bande osservate nei profili di DGGE ottenuti da diverse popolazioni in esame. È stata evidenziata la possibilità di individuare specie presenti anche in proporzioni inferiori all'1% nella composizione totale della popolazione. Utilizzando tale principio i frammenti di amplificazione da PCR relativi alla zona del DNA 16S di campioni contenenti molte specie di microrganismi anziché dover essere separati per clonaggio o analizzati via digestione ARDRA originando profili spesso complessi e di ambigua interpretazione, possono essere frazionati e risolti senza interventi enzimatici originando profili in cui ogni specie è rappresentata da una singola banda in posizione caratteristica e distinta, la cui intensità riflette inoltre l'abbondanza relativa di tale specie in seno alla comunità. Il sistema costituisce pertanto una delle forme più rapide di stima analitica della diversità microbica in comunità complesse. Oltre ai vantaggi succitati la metodica prevede anche l'opzione preparativa, nel qual caso i frammenti del profilo possono venir escissi e il loro DNA sequenziato, consentendo anche la rapida identificazione delle specie presenti. Tra gli obiettivi accessibili mediante gli approcci sopra descritti possono venir pertanto elencati: (a) La conoscenza della diversità biologica degli ambienti e della sua variazione in suolo e in acque a seguito di diverse pratiche di gestione (agricola, zootecnica, silviculturale, naturalistica). (b) L'apprezzamento dell'entità e dello stato delle interazioni tra microrganismi e piante in sede rizosferica. Valutazione della diversità microbica quale funzione della specie vegetale presente. (c) Il rilevamento precoce e sensibile di cambiamenti e degenerazioni in atto negli ecosistemi agrari e naturali dovuti a perturbazioni conseguenti al sistema di gestione o a contaminazioni accidentali, eseguito tramite monitoraggio delle specie microbiche alla base del sistema ecologico. Quale ambiente adatto per il presente studio, è stato scelto il lago CS (1922 m s.l.m., 27000 m<sup>2</sup>).

Tra le ragioni della scelta di un ambiente acquatico, quale banco di prova per questo studio, la principale è il fatto che un piccolo lago può essere considerato un sistema modello semplificato, l'isolamento delle cellule batteriche e l'estrazione del DNA da campioni di acqua dolce consentono di ridurre al minimo alcuni problemi che si incontrerebbero lavorando con il suolo. Inoltre il lago in questione è stato assunto quale riferimento per confronti con ambienti acquatici di pianura riceventi livelli maggiori di impatto ed antropizzazione.

Sulle rive del CS si trova un rifugio, aperto nel periodo estivo, che offre servizio di ristorazione. Fino al 1998 gli scarichi della cucina finivano direttamente nel lago, mentre quelli del bagno venivano trattati con calce e successivamente seppelliti lungo le rive del lago stesso. Lavori di ristrutturazione e messa a norma dell'intero rifugio sono iniziati nell'autunno 1997 e sono stati completati nel 2007 (comunicazione personale G. Piechele). Per diminuire l'impatto antropico e cercare di ripristinare la naturalità dell'ambiente, che pure non mostrava alterazioni macroscopiche, nel 1998 sono state apportate delle modifiche ai sistemi di scarico: una conduttura porta i reflui della cucina e dei servizi igienici a valle dei due laghi, in accordo con la politica dell'intero Parco, che invita i visitatori a riportare i rifiuti a casa. Rispetto ai precedenti anni di campionamento, il rapporto IASMA per il 1998 (Corradini & Flaim, 2000) rivelava una situazione migliorata, caratterizzata da una trasparenza maggiore e da una diminuita quantità di clorofilla, nonché dalla presenza di comunità fito- e zooplanctoniche più equilibrate e diversificate. Il luogo è tuttavia molto visitato: si stima che i visitatori siano in genere un centinaio al giorno durante il periodo di apertura del rifugio (da giugno a settembre), con occasionali punte fino ad 817 presenze quotidiane nei mesi di luglio e agosto (dati Ente Parco). L'impatto che i turisti hanno sui due laghi è sia diretto, proveniente cioè dal loro contatto con le acque del lago o con le zone circostanti (il terreno torboso che circonda i laghi è infatti imbevuto d'acqua, almeno in qualche periodo dell'anno, e tali acque percolano nei due laghi, che si trovano in una conca), sia indiretto, dovuto alle necessità del rifugio.

Lo studio microbiologico qui presentato è il risultato di una ricerca svolta in due epoche volte a valutare la situazione prima e dopo le suddette modifiche degli scarichi del rifugio. La prima campagna di monitoraggio è stata pertanto svolta nell'autunno 1997 e la seconda nell'autunno del 2004.

#### Materiali e metodi

#### 1. Prelievo dei campioni

Per le analisi batteriologiche e per i test di amplificazione destinati a digestione con enzimi, dal CS sono stati prelevati campioni di 700 ml d'acqua di superficie dalla zona Nord-est in taniche di polietilene sterili di capacità pari a 1 l, precedentemente lavate con EtOH assoluto. Tutti i recipienti sono stati trasportati in una borsa termica e le analisi in laboratorio sono state effettuate entro poche ore dal campionamento.

#### 2. Filtrazione delle cellule batteriche

Per la raccolta delle cellule destinate alle analisi molecolari si e' filtrata l'acqua (250 ml per filtro) su membrane da 0,22 mm, del diametro di 47

mm, (Millipore-GSWP04700, esteri misti di cellulosa-nitrato ed acetato) utilizzando un sistema a beuta aspirabile Sartorius da 250 ml in vetro, sterilizzata in autoclave, e risciacquata con acqua sterile Milli Q tra una ripetizione e l'altra.

I filtri, afferrati con pinza flambata, sono stati riposti in tubo falcon sterile da 50 ml e conservati a -20°C, fino al momento dell'estrazione.

#### 3. Analisi batteriologiche

Per la conta totale in microscopia (Akkermans *et al.*, 1995) 19 ml di campione sono stati fissati con l'aggiunta di 1 ml di formaldeide 37% e conservati a 4°C. Su questi campioni e sulle loro aliquote colorate con blu di metilene 1% è stata effettuata la conta in contrasto di fase mediante camera di conteggio (Thoma Feinoptik, Bad Blankenburg, Germania).

Il numero di cellule batteriche presenti nei campioni di acque è stato rilevato mediante conta al microscopio di sospensioni colorate con arancio di acridina. Le cellule vitali e quelle morte sono state enumerate al microscopio tramite colorazione con il kit BacLight Live/Dead (Molecular Probes, Eugene CA) come indicato dal produttore. L'analisi della frazione coltivabile della comunità planctonica è stata effettuata piastrando diluizioni seriali su terreno PCA (Plate Count Agar: triptone 5,0 g/l; estratto di lievito 2,5 g/l; glucosio 1,0 g/l; agar 15 g/l). Le piastre sono state incubate al buio, a temperatura ambiente, e le colonie cresciute sono state contate dopo 3 giorni.

#### 4. Estrazione del DNA dai batteri presenti nelle acque

Per l'estrazione del DNA della comunità batterica totale, inclusiva sia della frazione coltivabile che di quella non coltivabile è stato sostanzialmente seguito il protocollo messo a punto da Vendramin *et al.* (2001; 2007), basato sul metodo di Zhou *et al.* (1996).

#### 5. Amplificazione via PCR del frammento rDNA16S

L'amplificazione parziale del frammento rDNA16S è stata condotta selettivamente dal DNA genomico estratto, mediante PCR, con primer oligonucleotidici, complementari alle regioni conservate dei geni batterici rRNA 16S (Saiki *et al.*, 1988). Il primer forward R1n, corrispondente alle posizioni da 22 a 41 dell'rRNA16S di Escherichia coli (Brosius *et al.*,1978).

#### 6. Costruzione di librerie geniche di DNA 16S dalle comunità totali

La sospensione usata per il clonaggio del DNA 16S è stata ottenuta unendo gli amplificati delle repliche di estrazione, in quantità proporzionali ai segnali ottenuti in elettroforesi. Si è proceduto come descritto in Vendramin *et al.* (2001; 2007).

#### 7. Digestione dell'rDNA 16S amplificato e analisi del polimorfismo (ARDRA)

I cloni sono stati analizzati tramite tecnica ARDRA (Amplified Riboso-

mal DNA Restriction Analysis), per la quale sono stati digeriti 5 µl di ogni amplificato utilizzando 10 U delle endonucleasi HinfI, HhaI, HapII (Amersham Biosciences) in un volume finale di reazione pari a 20 µl. L'incubazione è stata condotta per almeno 2 h a 37°C. L'analisi dei prodotti della digestione è stata eseguita mediante elettroforesi in gel d'agarosio 2% TBE 0,5X, condotta al voltaggio costante di 100 V, e colorazione con etidio bromuro 0,3 µg/ml), analizzato con transilluminatore agli UV (modello Ts36 Ultraviolet Products Inc.S. Gabriel CA). Le immagini dei gel sono state catturate e trasformate in formato digitale dal sistema EDAS 290 Image Capturing System (Kodak, Rochester, NY). I profili generati sono stati analizzati mediante il software GelComparII® (Applied Maths, Sint-Martens-Latem, Belgium), che ha permesso di raggruppare i cloni in base ai profili ottenuti da ognuno dei tre tagli enzimatici. In particolare, utilizzando l'indice di Dice sono state create 3 matrici di similarità, una per endonucleasi. La matrice usata per il raggruppamento finale è stata costruita calcolando la media delle 3 matrici.

#### 8. Sequenziamento nucleotidico ed attribuzione tassonomica

L'amplificato 16S da lisati di cellule dei microrganismi coltivabili o da cloni della banca di E. coli, è stato purificato con colonne Qiagen e sequenziato in entrambi i filamenti utilizzando un kit Taq DyeDeoxy Terminator Cycle Sequencing della Applied Biosystems (A.B. Foster City CA), in termociclatore Perkin Elmer mod 480, (P.E. Boston, MA) ed innescando le reazioni alternatamente con uno degli stessi primers di amplificazione (per i microrganismi coltivabili) o con i primers GEM-T1 / GEM-T2, complementari alle adiacenze del polylinker del vettore di clonaggio (per la popolazione totale). Le porzioni opportune dei cromatogrammi sono state sottoposte ad analisi BLAST on line utilizzando la piattaforma NCBI (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/). La comparazione delle sequenze nucleotidiche, ottenute da sequenziatore automatico Applied Biosystems, con la banca dati del Ribosomal Database Project (http://www.cme.msu.edu), ha permesso la valutazione dei casi di maggior omologia e la conseguente assegnazione di posizione tassonomica nell'albero universale dei viventi.

#### 9. Analisi ecologica dei dati

Per il calcolo degli indici ecologici di diversità ed equipartizione delle comunità, e per i confronti di similarità tra le stesse, è stato utilizzato il programma EcoStat versione 1.0.2 (Trinity Software/Loyola Marmount University). Per la stima del numero reale di specie della popolazione nell'ambiente considerato mediante analisi di rarefazione ed estimatori sia parametrici che non parametrici, è stato impiegato il programma EstimateS versione 7.5.0, disponibile in rete telematica all'indirizzo http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates.

#### Risultati analisi 1997

Il monitoraggio è stato effettuato su campioni di acqua prelevata alla superficie dalla sponda nord in data 30 ottobre 1997. Per quanto riguarda la stima analitica della biodiversità batterica del Lago di Colbricon, si è proceduto sia sulla componente coltivabile isolando colonie su piastre di PCA, che sulla frazione totale. È stato possibile ottenere l'amplificazione specifica del DNA dai campioni di acqua di lago, o dalle colonie, sottoposti a lisi cellulare ed a reazione della DNA polimerasi con i primers relativi ad una porzione di rDNA 16S, ottenendo un amplificato di circa 1025bp, evidenziato con corsa elettroforetica su gel di agarosio allo 0.7% contenente 10mg/ml di etidio bromuro. I frammenti ottenuti dalla frazione coltivabile, su un campione scelto di 69 colonie, digeriti con tre enzimi di restrizione (HpaI, CfoI, HinfI), congiuntamente all'analisi morfologica delle colonie, hanno permesso l'individuazione di 43 diversi gruppi, corrispondenti ad altrettanti diversi profili di restrizione ARDRA. Dall'analisi comparativa di tutti i profili è stato possibile assegnare classi di frequenza numerica a ciascun isolato ed individuare i ceppi dominanti. È stato interessante rilevare come non si possa parlare di maggioranze preponderanti. Il profilo più frequente (risultato dopo il sequenziamento appartenere a Methylobacterium sp.) è stato riscontrato in 6 casi su 69, seguito da due profili con 4 casi (Sphingomonas echinoides, Microbacterium sp.) e da una serie dispersa a frequenze minori di cui ben 33 identificati in una singola occasione. Per l'identificazione tassonomica sono stati scelti rappresentanti dei diversi gruppi di cloni a profilo uguale, sia dominanti che rari ed è stato sequenziato il frammento amplificato. La sequenza dei rappresentanti dei gruppi dominanti, comparata con la banca dati del Ribosomal Database Project, ha permesso di identificare i taxa. Per quanto riguarda la frazione totale è stata ottenuta una miscela di frammenti, provenienti dai diversi microrganismi, le cui proporzioni quantitative si assumono correlate alla numerosità reciproca degli stessi in seno alla comunità. Prima di passare all'analisi del polimorfismo elettroforetico di restrizione, gli amplificati sono stati ligati e quindi introdotti in E. coli per elettroporazione. L'alta efficienza del protocollo di trasformazione ha permesso un'agevole scelta di 70 cloni per un confronto coi risultati di altrettanti casi analizzati nell'ambito della popolazione coltivabile. La successiva analisi dei profili di restrizione, ottenuti con gli stessi enzimi utilizzati per la frazione coltivabile, ha evidenziato 29 profili diversi. In questo caso, relativo alla popolazione totale, l'organizzazione gerarchica quantitativa dei microrganismi nelle acque del Lago CS, per quanto osservabile nel prelievo di fine ottobre 1997, riflette una stratificazione oligarchica a bassa equipartizione, con un gruppo dominante la cui sequenza è risultata altamente omologa a quella della specie Rhodospirillum photometricum rilevato in 18 casi su 70, seguito da Stenotrophomonas maltophilia (10/70), Ochrobactrum sp.

(7/70), *Desulphomicrobium hypogeium* (5/70). È stato verificato il grado di sovrapposizione tra i profili degli amplificati dai circa 70 cloni scelti da ciascuna delle due popolazioni. Come previsto in base al fattore 1000 di differenza tra la numerosità degli organismi coltivabili rispetto ai totali, il confronto tra i fingerprinting ha evidenziato una non sovrapposizione delle due popolazioni.

È stata parallelamente effettuata una caratterizzazione della diversità microbica con confronto di acque del lago con ambienti acquatici di pianura a forte impatto antropico. Quale metodo di stima sintetica dell'intera comunità si è scelto di analizzare i profili ARDRA di miscele di amplificati del gene per l'rRNA 16S senza previe separazioni. Utilizzando tale approccio si è approfittato per eseguire anche un confronto tra acque di ambienti diversi. Nell'ipotesi che la biodiversità sia negativamente correlata con l'impatto antropico subito, si sono scelti tre siti: (1) il CS, inteso come riferimento a presumibilmente basso grado di inquinamento; (2) un fosso all'interno dell'Azienda Sperimentale "Lucio Toniolo" presso la Facoltà di Agraria in Agripolis, Legnaro (PD); e (3) il Canale Scaricatore in località Roncaiette (PD) che raccoglie acque transitate nell'area urbana di Padova. I tre ambienti, un lago oligotrofico di circo glaciale a quota 1922 m s.l.m., con substrato di porfidi quarziferi, e due corsi d'acqua di pianura alluvionale, vicini ma di diversa portata, l'uno ad influenza prevalente agricola, l'altro municipale, costituiscono esempi diversi nel grado di naturalità atteso, nel tipo di gestione territoriale e nell'impatto potenzialmente subito. I risultati sono riassunti in Tab. 7.1.1.

I dati mostrano come il lago alpino, oligotrofico e a temperatura media superficiale sui 10 anni di 12,16 °C , nel periodo in cui non si presenta ghiacciato, supporti una carica microbica oltre dieci volte inferiore a quella delle acque di pianura. L'altro dato rilevante riguarda la coltivabilità delle cellule. Dal lago di montagna, meno dello 0.1% delle stesse è capace di moltiplicarsi su piastra. Si conferma la sproporzione, enunciata nell'introduzione, tra l'esigua minoranza di microrganismi rivelabili per via classica

Tab. 7.1.1
Densità, coltivabilità e stato fisiologico delle popolazioni batteriche e risultati dell'analisi sintetica delle tre comunità via amplificazione PCR e digestione HhaII ARDRA.

	Lago Colbricon Sup.	Fosso az. agraria	Canale scaricatore
Cellule batteriche totali	1.5 x 10 <sup>5</sup> /ml	5.8 x 10 <sup>6</sup> /ml	1.5 x 10 <sup>6</sup> /ml
Cellule formanti colonia	0.7 x 10 <sup>2</sup> /ml	4.9 x 10 <sup>4</sup> /ml	2.1 x 10 <sup>4</sup> /ml
Coltivabilità risultante	0.05%	0.8%	1.4%
Cellule vive/morte %	~100% vive	45% vive, 55% morte	15% vive, 85% morte
Numero medio di bande ARDRA per profilo	13.4	5.4	2.3
Complessità profilo	alta	media	bassa
Variabilità del profilo tra campionamenti indipendenti	variabile	leggermente variabile	stabile
Facilità di ottenimento amplificati PCR	spesso difficile da amplificare	sempre facilmente amplificabile	sempre facilmente amplificabile

ed un buon 99.9% di specie, protagoniste dell'ecosistema, che eludono però criticamente la catalogazione microbiologica. Nei due tipi di acque scorrenti in territorio con influssi agrari ed urbani invece oltre alla maggior abbondanza di batteri la coltivabilità degli stessi sale all'1%. Il dato è sintomatico ed è in linea con la differenza attesa tra i sistemi naturali e quelli antropizzati, in quanto i secondi tendono a presentare comunità dalla struttura meno diversificata e spesso dominata da particolari specie opportunisticamente adattate a condizioni perturbate. Tra queste ricordiamo le condizioni di tipo eutrofico, che favoriscono organismi a selezione ecologica di tipo r, cosa che potrebbe spiegare la maggior incidenza di cellule coltivabili nelle acque dei due canali. Analizzando inoltre le sottopopolazioni coltivabili dei vari ambienti, le colonie originate dalle acque del Lago del CS mostrano una maggior varietà morfologica e cromatica, ad ulteriore indicazione di una maggior biodiversità.

La conta al microscopio ad epifluorescenza è stata effettuata, per le due acque di pianura, mediante un kit, per la determinazione della vitalità cellulare; con questo sistema basato su una coppia di coloranti fluorescenti, le cellule batteriche con membrane ancora integre appaiono colorate in verde e vengono considerate vitali; mentre le cellule che si colorano di rosso a causa dello stato non più selettivo delle loro membrane, si considerano morte. I dati hanno indicato come i campioni del fosso dell'azienda agraria contenessero un 45% di cellule vitali mentre in quelli del Canale Scaricatore la frazione scendesse al 15% e il Lago CS presentasse il 100% di cellule vitali. Il fatto è ulteriormente indicativo di un peggior aspetto qualitativo delle acque dello Scaricatore.

Per quanto riguarda i profili di digestione ARDRA, effettuata con l'enzima HhaII, il panorama che appare osservando i pattern risultanti dai tre tipi di habitat mostra chiare differenze, ed interessanti particolarità. I microrganismi provenienti dall'acqua raccolta in più punti di campionamento del Canale Scaricatore, hanno presentato sempre uno stesso profilo d'insieme, molto semplice e composto di poche bande, al massimo tre-quattro, nel caso più articolato, con una media di 2,3 per corsia. Nel caso del lago invece, con una media di 13,4 bande per profilo, e del fosso aziendale con 5,4, i profili sono apparsi più eterogenei e complessi. Si può individuare quindi sia dalle analisi batteriologiche su piastra e al microscopio, che da quelle molecolari, una scala in cui l'indice di numerosità delle bande per corsia appare ben correlato con lo stato di naturalità e salute degli habitat, proponendosi quindi come un utile strumento di saggio per la rapida formulazione di giudizi di carattere ecologico. Dalle diverse comparazioni appare quindi come il Lago CS presenti profili più particolareggiati e ricchi di complessità, emerge inoltre una certa variabilità di profilo confrontando prelievi distinti effettuati nello stesso momento climatico e ad ugual profondità ma da postazioni diverse del lago. Questo fenomeno è osservabile in parte anche tra le repliche del fosso di Agripolis, mentre molto costanti come detto sono apparsi i profili del Canale Scaricatore. Per verificarne dunque ulteriormente il grado di diversità batterica, si è proceduto mediante digestioni aggiuntive con un ulteriore enzima di restrizione, AluI, i cui risultati hanno confermato la spiccata omogeneità dell'ambiente, tale da non mostrare variazioni neanche tra campioni estratti con protocolli diversi, fattore che invece appare influenzare in parte la riproducibilità dei risultati ottenibili con campioni di acque di lago. A tale proposito è possibile aggiungere una considerazione: da un lato esperimenti precedenti di messa a punto dei protocolli di estrazione del DNA hanno evidenziato una possibile variabilità legata a passaggi della procedura, inducendo quindi all'adozione di un unico protocollo e al consiglio di limitare le difformità di trattamento tra i campioni; ma d'altro canto, quando si osservi una costanza di risultati nonostante le variazioni di protocollo e di replicato sperimentale è possibile dedurre che l'ambiente abbia una diversità biologica così ridotta ed una prevalenza di specie dominanti e stabilizzate, tali da imporsi come invariabili anche a dispetto dei problemi di replicabilità di risultati della procedura stessa. In questo senso lo stesso "Grado di Riproducibilità Sperimentale", fluttuante all'interno di ecosistemi ricchi di specie e basso in quelli più semplificati o banalizzati da ripetuta o intensa perturbazione, può essere suggerito come parametro di valutazione ecologica.

Considerando inoltre le metodiche applicate e i risultati osservati, è possibile inferire che eventuali cambiamenti in atto in un ambiente, che lo sospingano verso un livello minore di diversità biologica, possano essere individuati con le tecniche qui utilizzate e che in tal senso la riduzione di complessità dei profili e la omogeneità di composizione di comunità dominate da precise specie, possa essere vista come la spia di fenomeni di instabilità, transizione o possibile degrado, in corso di svolgimento ma non ancora apparenti ad altri livelli di osservazione.

#### Risultati analisi 2004

L'obiettivo di questa seconda campagna di monitoraggio è stato quello di valutare se i lavori di adeguamento fognario del rifugio turistico prospiciente il Lago abbiano eliminato la dominanza di specie ad ecologia legata a impatto umano, riscontrate abbondanti in campionamenti effettuati in anni precedenti i lavori suddetti. A questo scopo in data 22/10/2004 sono stati prelevati 2 l d'acqua dal CS presso la riva Nord-est.

Per quanto concerne lo studio della popolazione batterica totale, le cellule presenti e raccolte per filtrazione sono state lisate e dal loro DNA genomico si è ottenuto via PCR il pool di amplificati dei geni per l'RNA ribosomale 16S, utile alla identificazione tassonomica. Ciascuna copia è stata separata dalle altre clonando gli ampliconi in plasmidi e inserendoli in *E. coli* per elettroporazione. Dalla trasformazione sono state ottenute 396 colonie ampicillino-resistenti, di cui 355 risultavano bianche, cioè β-galattosidasi-negative, quindi indicative della presenza di inserto di DNA ricombinante, mentre 41 erano blu, per una resa di clonaggio pari al 90%. L'isolamento degli inserti è stato ottenuto amplificandoli selettivamente mediante PCR, a partire dal lisato di 355 cloni da colonie bianche. L'analisi in elettroforesi ha permesso di valutare la riuscita dell'amplificazione e di stimare la quantità di amplificato a disposizione per le successive digestioni, nonché di individuare e quindi escludere gli amplificati di dimensioni inferiori all'atteso o caratterizzati da una doppia banda. L'analisi ARDRA è proseguita su 226 sequenze, conformi ai requisiti, che sono state digerite con gli enzimi Hinfl, Hhal, HapII. Una prima analisi, effettuata sommando le bande di ogni profilo ottenuto dal taglio con HinfI, è servita a valutare la completezza della digestione e l'eventuale perdita di un numero eccessivo di frammenti più corti di 80-100 bp, e quindi di informazione. Per 6 campioni il risultato della somma era superiore all'atteso, anche dopo aver ripetuto la digestione utilizzando una quantità maggiore di enzima (15 U, cioè il 50% in più), probabilmente a causa della presenza di più di una sequenza nell'amplificato. Tali cloni sono stati scartati dall'analisi, che è quindi proceduta su 220 amplificati.

I tre enzimi riconoscono sequenze di 4 basi. Il programma GelComparII si è rivelato utile per l'analisi di allineamento dei numerosi profili di restrizione ottenuti, in quanto ha consentito di trattarli in maniera uniforme ed ha reso più veloce il raggruppamento.

Si sono ottenuti 78 gruppi riferibili come unità tassonomiche operazionali (OTU: Operational Taxonomic Unit) ed in termini pratici coincidenti con il concetto di specie. La numerosità di ciascuna specie in seno al campione osservato è riportata in Tab. 7.1.2. Le sequenze ottenute sono state confrontate con quelle presenti in rete, tramite il programma BLAST. La sintesi delle identità riscontrate è fornita nella legenda della suddetta tabella. In Tab. 3 sono invece ripartiti gli stessi risultati ma suddivisi per grandi divisioni tassonomiche, a livello del rango di phylum o di classi nel caso dei Proteobacteria. Come è possibile osservare (Tab. 7.1.3) la maggioranza

n. gruppi	numerosità
1	53ª (24,1%)
1	19 <sup>b</sup> (8,6%)
1	11°
1	10 <sup>d</sup>
2	8e,f
1	6 <sup>g</sup>
2	4
6	3
16	2
47	1

Tab. 7.1.2.

Profili (specie) ottenuti dall'analisi ARDRA di 220 cloni di rDNA 16S della comunità batterica acquatica. Totale profili diversi = 78. Sono di seguito riportate le descrizioni reperibili in banca dati GenBank, relative alla provenienza del microrganismo dall'identità risultante più affine alla sequenza in oggetto con indicazione della percentuale di omologia e del codice di accesso in database:

a Actinobacteria, 100% sweetwater bacteria (Rimov Reservoir, Czech Republic) AY575501; b β-Proteobacteria, 98% oil polluted soil, AF078763; c Actinobacteria 99% cyanobacterial bloom lake, Sweeden, AY496981; d β-Proteobacteria 99% (Comamonadaceae) oil polluted soil, AF336363; e β-Proteobacteria 98% (Polynucleobacter sp.) Lake Mondsee, Austria. AJ550654. f β-Proteobacteria 100% (Acidovorax sp.) AF5534429, g Verrucomicrobiales 96%, Temperated lake (L.Loosdrecht, Olanda). AF009974.

dei batteri presenti appartiene ai gruppi degli attinomiceti e dei beta-proteobatteri, indicando una spiccata natura eterotrofica della popolazione. La maggior parte delle sequenze è risultata omologa a batteri riportati come non coltivati dagli autori che ne hanno depositato la sequenza. Il dato è in linea con il generale fenomeno di preponderanza di organismi a strategia quiescente e non coltivabili nella gran parte degli ambienti.

Un'analisi ecologica dei dati per la validazione del campionamento è stata parimenti effettuata. Il prospetto, come desunto dai suddetti indicatori di

Divisione	n. individui	%
Actinobacteria	100	45,87%
β-Proteobacteria	67	30,73%
Verrucomicrobia	11	5,05%
α-Proteobacteria	11	5,05%
Cyanobacteria	8	3,67%
divisione TM7	2	0,92%
γ-Proteobacteria	2	0,92%
Planctomycetes	2	0,92%
plastide	1	0,46%
assenza di omologie note	3	1,38%
incertae sedis	11	5,05%

Tab 7.1.3
Risultato dell'assegnazione delle sequenze microbiche dei cloni alle divisioni batteriche note dopo confronto in banca dati.

ricchezza di specie e di livello di esaustività delle stime è mostrato nella tabella 7.1.4, nella quale sono inseriti anche alcuni indici che estrapolano la reale situazione di una comunità a partire dai dati del campione. Una verifica della completezza dell'analisi effettuata può essere infatti condotta avvalendosi di procedure di stima della esaustività del campionamento (coverage). Tali metodi considerano la quantità di specie (filotipi, equivalenti alle OTU) riscontrati una sola volta (singletons), due volte (doubletons) o quella dei casi reperiti meno di dieci volte, rispetto al totale degli individui campionati. Alla base di tali stime vi è la constatazione che in una comunità non estensivamente campionata abbonderanno i gruppi rappresentati da un singolo individuo, che in generale si ridurranno rispetto al totale con il procedere del campionamento. I dati ottenuti per la comunità planctonica forniscono un valore di 0,79 se si utilizza l'estimatore di copertura di Good (Good, 1953), numero che si riduce a 0,66 se si applica una correzione per la rarità e si calcola quindi la copertura di ACE (Abundance Coverage Estimator, Chao et al., 1993). I valori indicano quindi che la nostra analisi di 220 cloni dovrebbe essere stata sufficiente a rivelare almeno i 2/3 della biodiversità totale della popolazione dell'habitat in esame. Oltre alle stime di copertura sono inoltre possibili estrapolazioni del numero presunto di specie a partire dal numero riscontrato e dalle ripartizioni suddette. Gli indici in uso, Chao1 e ACE, applicabili mediante il programma EstimateS

N. totale OTU (specie) riscontrate	78
Estimatore Chao1 del numero totale presunto di specie	147,0
della popolazione (intervalli di confidenza)	(110,3 - 225,6)
Estimatore ACE del numero totale presunto di specie della popolazione	141,6
Indice di Shannon diversità	1,53
Indice di Shannon evenness	0,81
Indice di Simpson diversità	0,93
Indice di Simpson evenness	0,93
Percentuale Coverage (Good)	79%
Percentuale Coverage (CACE)	66%

**Tab. 7.1.4**Valori degli indicatori ecologici per la comunità planctonica batterica del Lago CS. Per l'estimatore Chao1 sono indicati in parentesi gli intervalli di confidenza 95%.

portano rispettivamente a valori di 147,03 e 141,58. I due risultati sono piuttosto concordi, a testimonianza di una buona attendibilità, e in definitiva indicano che la comunità planctonica del Lago CS all'epoca del campionamento ammonterebbe a valori intorno alle 140 specie, 78 delle quali rivelate dalla presente analisi.

Per quanto riguarda i taxa identificati la preponderanza, tra le specie risultanti dal sequenziamento, di batteri non coltivati può essere assunta come segno di naturalità del sistema, in contrasto con ambienti antropizzati, in cui lo stress fornito alla comunità (sotto forma ad esempio di input di materia organica o di altre sostanze) determinerebbe il prevalere di specie opportuniste, e delle quali sono note forme coltivabili. L'analisi sul prelievo effettuato nel 1997, sempre in epoca autunnale di fine stagione prima del congelamento, aveva evidenziato la presenza di una comunità diversificata, tra i cui rappresentanti più numerosi vi erano anche specie legate alla presenza umana. Nella Tab. 7.1.5 è possibile confrontare il risultato dell'analisi del prelievo 2004 con quella corrispondente sul prelievo del 1997. Dal punto di vista della sovrapposizione le due comunità risultano totalmente diverse. Nessuna specie, per quanto giudicabile dai triplici profili ARDRA, è risultata comune alle due analisi. La specie più rappresentata nel 1997 era data da Rhodospirillum photometricum (33,8%), ma seguivano in ordine di abbondanza Stenotrophomonas maltophilia (14,7%) e Ochrobactrum sp. (10,3%). Queste ultime due sono note come specie opportuniste di derivazione antropica e dalle deboli attitudini patogeniche. La loro scomparsa, nonostante rappresentassero congiuntamente oltre un quarto delle cellule dei batteri del lago, testimonierebbe che i lavori eseguiti nel 1998 per allontanare i rifiuti fognari e gli scarichi della cucina deviandoli oltre il lago, avrebbero avuto efficacia. Le acque campionate nel 2004, a sei anni dall'intervento di bonifica idraulica, non contengono traccia di specie legate a deiezioni umane, e presentano una preponderanza di rappresentanti di bacini idrici. In particolare, dominano i rappresentanti d'acqua dolce, e tra questi quelli rinvenuti a latitudini o altitudini elevate, concordando in tal senso con il parallelismo latitudine-

Comunità ottobre 1997 Comunità ottobre 2004 Analisi quantitative 1,5 x 10<sup>5</sup>/ml totali  $8.3 \times 10^7 / \text{ml}$ totali coltivabili  $0.7 \times 10^2 (0.05 \%)$ coltivabili  $1.3 \times 10^3 / \text{ml} (< 0.01\%)$ Analisi qualitative numerosità n.gruppi numerosità n.gruppi 23a (33.8%) 15<sup>d</sup> (22,1 %) 1 1 10<sup>b</sup> (14,7 %) 1 5° (7,35 %) 1 7° (10,3 %) 1 4 3 2 3 2 3 2 2 2 5 1 18 1 20

Tab. 7.1.5
Confronto tra le comunità batteriche da prelievi del 1997 (da Vendramin *et al.* 2001) e del 2004 con indicazione delle più alte omologie di sequenza dell'RNA ribosomale 16S presenti in banca dati GenBank.

- <sup>a</sup> Rhodospirillum photometricum
- <sup>b</sup> Stenotrophomonas maltophilia
- <sup>c</sup> Ochrobactrum sp.
- <sup>d</sup> Actinobacteria
- <sup>e</sup> Actinobacteria

altitudine, valido per i Laghi di Colbricon che si trovano a quasi 2000 metri di quota. Ma una ulteriore interessante e nuova informazione è la presenza di una proporzione rilevante (16 taxa su 78, e con un'abbondanza pari a un quinto delle cellule totali) di casi con sequenze omologhe a quelle di specie rinvenute da altri autori in ambienti contaminati da sostanze chimiche, per lo più petrolio ed idrocarburi, fatto che costituisce un'anomalia per un lago d'alta montagna, posto in un area naturale a legislazione protetta, accessibile solo per sentieri a piedi, in un bacino di raccolta che vede a monte soltanto le impervie catene del complesso del Lagorai, e naturalmente nessun insediamento industriale, né antropico di sorta al di fuori del semplice rifugio, alimentato energeticamente a pannelli solari. Le nostre ricognizioni in loco per indagare sui motivi di tale presenza di microrganismi oleo-degradatori hanno permesso di constatare che il rifugio dispone, quale supporto al sistema di fotoconversione dell'energia, anche di un piccolo generatore con motore a gasolio, che viene acceso nelle prime ore della giornata, per permettere di avviare le macchine di bar e cucina (forni e macchine per caffè) prima che la disponibilità luminosa raggiunga valori sufficienti a procedere in autonomia. Il comignolo del generatore, è posto ad alcuni metri di altezza sopra le acque, ma abbiamo potuto personalmente constatare come i fumi, in caso di brezza da nord-nord-est vengono direttamente sospinti sulla superficie del lago, e il terreno sopra la cisterna del generatore da cui sbocca il comignolo presenta, oltre all'assenza di vegetazione, un annerimento ed un odore indicativi dei residui di combustione. Sebbene il lago si presenti assolutamente pulito e privo di evidenti tracce di oli pesanti, e sebbene un'analisi gascromatografica per idrocarburi nelle acque abbia dato esito negativo (dati non mostrati), è utile considerare che tale metodica ha come limite di sensibilità le 10 ppm. Ciò permette di speculare che se in un lago dal volume di 162900 m³, come è il Lago CS (Trevisan & Rosso, 2001), una perdita fino a 1630 litri di gasolio (10 ppm) potrebbe teoricamente passare inosservata anche ad un'analisi al gascromatografo, e richiederebbe applicazioni di almeno tre ordini di grandezza più sensibili quali la spettrometria di massa. Poiché nel caso in esame è ipotizzabile che l'entità dell'influsso sia anche di molto minore delle 10 ppm, e possa essere dovuta alla semplice convezione di fumi, oltre a possibili microperdite da cisterna e taniche, il caso rivela come l'analisi microbiologica abbia potuto fungere da spia sensibile del fenomeno, più accuratamente delle tecniche analitiche alla portata del laboratorio medio.

Considerando quindi la storia degli interventi sul Lago e il loro esito, se da un lato è stato quindi possibile verificare come l'avvenuta deviazione degli scarichi abbia positivamente influito sulla scomparsa delle specie antropogene, dall'altro i lavori contestuali all'operazione e l'introduzione del generatore hanno aperto un altro potenziale problema ambientale che ha avuto il proprio impatto nella composizione della comunità microbica. In entrambi i casi quest'ultima ha permesso l'indicazione puntuale e precoce dei fenomeni in corso e prospettato i possibili interventi di adeguamento. Nel caso del secondo fenomeno è inoltre importante sottolineare come la natura della popolazione microbica, adeguatasi ai nuovi input organici, oltre a fungere da indicatrice del fenomeno di perturbazione assolve al contempo anche il compito di contribuire già alla risoluzione del problema stesso, dato che i nuovi microrganismi rilevati sono per l'appunto attivi degradatori di oli pesanti e idrocarburi.

È da rilevare inoltre come i dominanti della comunità siano attinomiceti, i quali anche se non citati specificamente in letteratura su acquiferi inquinati da petroli, sono una ben nota componente di degradatori di sostanza organica di natura complessa e ben si associano ad un quadro come quello descritto, al quale si aggiungono anche altri 8 taxa a sequenza omologa a batteri associati a situazioni di abbondanza di sostanza organica. In generale, confrontando la comunità del 1997 con quella del 2004 si può descrivere un netto shift da comunità dominata da produttori autotrofi a fotosintesi anossigenica e solfuro-ossidanti (*R. photometricum*) ad una di degradatori eterotrofi riferibili ad un quadro di transizione verso una possibile relativa eutrofia. In questo senso è possibile inoltre aggiungere che le cellule totali e quelle coltivabili del prelievo 1997 ammontavano rispettivamente a 1,5 x 105 /ml e 0.7 x 102 /ml, mentre nel corrispondente prelievo del 2004 facevano rilevare valori 8,3 x 107/ml e 1,3 x 103 /ml, delineando un aumento della biomassa ed un calo della sua coltivabilità.

La suddetta tabella 5 affianca i dati per il confronto. Come già ricordato nessun taxon è stato rilevato comune alle due comunità, indicando una netta successione compositiva. Questa non sembrerebbe legata a fattori ciclici di av-

vicendamento destinati a ripristinarsi, poiché entrambi i prelievi sono relativi allo stesso momento climatico (fine ottobre) che rappresenta la fine della stagione di crescita e precede di poco il congelamento del lago. Una sostituzione delle comunità, anche in seguito a piccoli influssi di cambiamento è piuttosto attendibile in un lago piccolo e facilmente perturbabile, quando sia intercorsa una così grande distanza di tempo. È importante anche ricordare che in tale epoca, come consistentemente riscontrato da tutte le edizioni dei rapporti IASMA, si ha il vantaggio di una totale omeotermia del Lago di Colbricon, attraverso tutte le profondità, senza le stratificazioni epi-ipolimniche del periodo estivo, che per quanto moderate, danno luogo a salti di ossigenazione, pH e temperatura. In questo caso si può considerare che prelevando a fine stagione la comunità di superficie sia meglio rappresentativa della situazione generale del lago di quanto non risulterebbe effettuando prelievi estivi.

#### Conclusioni

In base ai risultati di tutte le diverse analisi effettuate ed in parte pubblicate (Vendramin et al., 1998, 2001, 2007) è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive: per quanto riguarda analisi chimico-fisiche e limnologiche, la variabilità interannuale della composizione specifica è consistente, i parametri meteo-climatici spiegano una buona parte di questa variabilità. È difficile individuare, a livello di proprietà generali del fitoplancton eucariotico e delle cianoficee, relazioni chiare. Alcune indicazioni possono venire dall'esame delle relazioni osservate a livello di specie. Ancora una volta emerge, quindi, la necessità di acquisire informazioni approfondite sull'ecologia di singoli taxa. In merito alle analisi batteriologiche è possibile concludere che: la comunità planctonica a fine stagione vegetativa del Lago CS risultava nell'anno 2004 dominata da attinomiceti e da beta proteobatteri eterotrofi, per una ricchezza di specie stimata intorno alle 140. I lavori di adeguamento fognario del rifugio turistico hanno eliminato la dominanza delle specie di influsso antropico presenti nel 1997 prima delle opere, ma oggi sostituite da una insolita ricchezza di specie oleovore, imputabili alla concomitante installazione di un generatore ausiliario alimentato a gasolio. Il confronto ha quindi permesso di verificare la sostituzione delle specie dominanti, precedentemente rappresentate da microrganismi a debole carattere patogenico e spia di un impatto antropico, con specie di diversa attitudine ecologica, indicative di un aumento di trofia e della presenza di residui di idrocarburi. Nonostante l'aspetto sano e naturale che il lago continua a presentare e nonostante l'analisi del fitoplancton eucariote e quelle chimiche non denotassero variazioni, le analisi microbiologica ha permesso di rilevare nel corso degli anni diversi processi in corso quali l'eccessivo contatto antropico o i residui di combustione, prospettando in entrambi i casi una diagnosi precoce di rischi di degrado e consentendo una adeguata e tempestiva soluzione ai problemi.

### Comunità microalgale dal 1998 al 2007

R Trevisan, C. Poggi, M. Zannoni e M. Picarella

Ogni comunità fitoplanctonica è controllata da numerosi fattori le cui fluttuazioni ne modellano la struttura creando di volta in volta condizioni favorevoli all'una o all'altra specie. Per ogni specie esiste una combinazione ottimale di valori di diversi fattori biotici e abiotici al cui interno il tasso di crescita è massimo (successione stagionale della comunità). Lo studio dell'ecologia del fitoplancton è particolarmente utile nei laghi di alta montagna (Lami & Boggero, 2006) come dimostrato in molti recenti lavori, gli ambienti lacustri di alta quota possono essere considerati come sentinelle degli effetti del cambiamento climatico, in quanto, più di altri ambienti, sono particolarmente suscettibili alle modificazioni di temperatura, cicli di gelo e disgelo, introduzione di specie alloctone (Adrian *et al.*, 2009).

Le dure condizioni fisiche, caratterizzate da temperature al limite della vita e il congelamento della superficie del lago, si riflettono sulla stagionalità nella composizione chimica dell'acqua (Nauwerck, 1994; Koinig et al., 1998) che a sua volta influenza le componenti biologiche del lago (Fott et al., 1999). A seconda della composizione litologica circostante, e in particolare in situazioni basiche/acide, le acque di tali laghi sono poco tamponate, rendendole inclini all'acidificazione (Boggero et al., 1996). Poiché questi habitat sono esposti a numerose perturbazioni e comprendono una notevole biodiversità, essi si qualificano come sensibili e utili proxies di avvertimento per i cambiamenti ambientali in relazione alla variazione del clima globale (Nauwerck, 1994; Schmidt et al., 2004). La conoscenza acquisita dalla biologia dei laghi di alta quota diventa perciò una misura utile per conoscere il modello tipo e gli effetti di fenomeni di grande portata e per promuovere le conseguenti azioni nelle politiche di conservazione e prevenzione (Koinig et al., 1998; Catalan et al., 2009; Cabrera et al., 1997; Halac et al., 1997; Curtis et al., 2009; Tolotti, 2006).

Il fitoplancton che vive in questi bacini d'alta quota non è dato da taxa o endemismi specifici, bensì subisce una selezione sulla vasta gamma di specie che vivono in corpi d'acqua dolce più grandi e in zone meno elevate (Nauwerck, 1966; Catalan et al., 2009). La persistenza algale in queste condizioni estreme e stressanti è resa possibile dalla capacità della comunità fitoplanctonica di sopportare l'alternanza di lunghi periodi di congelamento e di brevi stagioni vegetative, un'ampia variabilità annuale di regime luminoso dall'estate all'inverno, un basso livello di nutrienti e veloci cambiamenti nella composizione chimica dell'acqua (Salmaso & Decet, 1997).

Tra le strategie coinvolte, è stata riportata una riduzione del volume cellulare delle singole specie (Tilzer, 1972) e la selezione di taxa capaci di un (seppur modesto) movimento (Pechlaner, 1971; Reynolds *et al.*, 2002). I biovolumi complessivi del fitoplancton di laghi d'alta quota tendono ad essere moderati, con incrementi in estate o in autunno (Nauwerck, 1966; Rott, 1988; Kernan *et al.*, 2009; Catalan *et al.*, 2009).

Abbiamo studiato due laghi d'alta quota adiacenti, che offrono una configurazione interessante per indagare le differenze nei corsi d'acqua situati all'interno dello stesso paesaggio e sotto afflussi geochimici uguali. Lo studio qui presentato si estende per più di 10 anni consecutivi durante i quali i laghi sono stati campionati con intensità costante (circa tre-quattro settimane nei periodi liberi dal ghiaccio), fornendo un grande set di dati rispetto alla maggior parte degli standard di studi ecologici sul fitoplancton. L'obiettivo generale di questo contributo è di fornire, seguendo più un approccio naturalistico che funzionale, una panoramica su composizione tassonomica e struttura della comunità fitoplanctonica nei due Laghi di Colbricon.

# Materiali e metodi: identificazione delle specie e valutazione della densità e della biomassa

Campioni d'acqua per le analisi tassonomiche del fitoplancton, sono stati raccolti con un retino da plancton con maglie di 25 µm setacciando per circa dieci minuti la zona superficiale del lago. Il conteggio, per la determinazione quantitativa della densità e biomassa, è stato eseguito a centro lago su campioni integrati rappresentativi della zona eufotica. Il campionamento è stato eseguito utilizzando un tubo di plastica flessibile e zavorrato (Vollenweider, 1974).

I campioni sono stati fissati con la soluzione di Lugol 1%. Il conteggio delle cellule algali è stato realizzato al microscopio invertito, con obiettivo a 400 ingrandimenti in accordo con la tecnica Utermöhl (Utermöhl, 1958), secondo il metodo dei campi casuali (Boney, 1975; Morabito, 1997; Saraceni & Ruggiu, 1974). Alcune specie, di particolare interesse e di difficile interpretazione, sono state identificate utilizzando tecniche di microscopia a scansione (Cambridge Stereoscan 250 (accelerating voltage 20 k V) presso il "Centro Universitario Grandi Apparecchiature Scientifiche" CUGAS dell'Università di Padova). La densità, espressa in individui per millilitro (cell ml<sup>-1</sup>) è stata calcolata tenendo conto del numero di individui conteggiati all'interno della camera di sedimentazione, della frazione (area/ numero campi) analizzata e del volume sedimentato. Per la stima della biomassa si è proceduto al calcolo del biovolume cellulare; poiché si assume che la differenza tra il peso specifico delle alghe e quello dell'acqua sia trascurabile, si considera il peso specifico delle alghe pressoché unitario (Smayda, 1978; Morabito, 1997). Sono state eseguite una serie di misure lineari degli organismi osservati, con l'ausilio di una scala micrometrica applicata all'oculare del microscopio. A partire da questi valori è stata calcolata la media dei biovolumi di ogni singola specie, assimilando le alghe a solidi geometrici ed applicando semplici formule per calcolare il volume (Rott, 1981; Morabito, 1997; Trevisan, 1978).

La determinazione tassonomica delle alghe si è basata su alcune serie di testi: Bourrelly, 1972; 1981, 1985, 1988; Huber-Pestalozzi, 1941, 1955; Huber-Pestalozzi & Fott, 1968; Komàrek & Fott, 1983; Krammer & Lange-Bertalot, 1986, 1991, 1998; Anagnostidis & Komarek, 1988; Popovsky & Pfiester, 1990; Hansen & Flaim, 2007; Coesel, 1985, 1991, 1994, 1997; Abdelahad *et al.*, 2003; Dell'Uomo, 1991. A questi si è aggiunta la consultazione di studi limnologici sui laghi d'alta quota delle Alpi orientali (Tolotti, 2002, 2006; Salmaso & Zignin, 2007). La classificazione delle alghe è basata su Van den Hoeck *et al.*, 1995.

#### Risultati

Gli esami microscopici dei 138 campioni integrati, raccolti in entrambi i Laghi di Colbricon durante i 10 anni di studio, hanno rivelato una ricchezza morfologica di 128 differenti taxa fitoplanctonici. Sono stati trovati 111 taxa nel Lago CS e 104 nel Lago CI; di questi, 83 taxa sono presenti in entrambi i laghi. Il Lago CS ha 28 taxa specifici che non si trovano nel Lago CI e il contingente specifico di quest'ultimo è ancora più piccolo di quello del Lago CS, solo 21 taxa. Una possibile causa del minor numero di specie

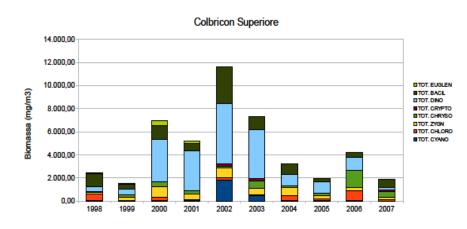
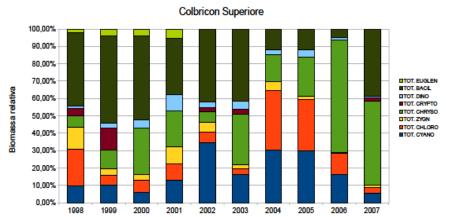


Fig. 7.2.1a Valori medi annuali di biomassa (mm³/m³) microalgale nel Lago CS

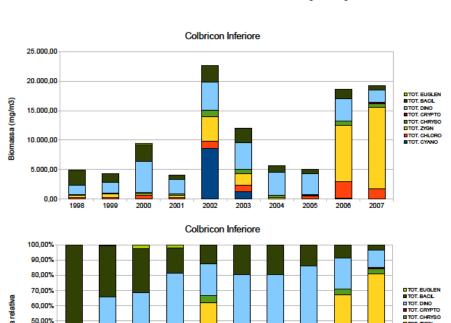


**7.2.1b**Valori % della biomassa dei vari raggruppamenti tassonomici delle microalghe del Lago CS

specifiche del Lago CI, potrebbe essere il consumo da parte dello zooplancton. Il Lago CI ospita una più ampia varietà di rotiferi e una maggiore abbondanza di copepodi rispetto al Lago CS, mentre i cladoceri sono presenti in entrambi i laghi in bassa densità (vedere capitolo 7.3 sullo zooplancton). I valori delle medie annuali delle biomasse e le percentuali dei diversi gruppi tassonomici del fitoplancton dei due laghi sono visibili in Figg. 7.2.1a-7.2.1b-7.2.2a-7.2.2b.

In termini di biomassa media per l'intero decennio, il lago più piccolo CI ha sostenuto un biovolume totale di fitoplancton quasi doppio del lago più grande CS (639,0 mm³ m-³ nel Lago CS contro 1166,7 mm³ m-³ in CI). I due laghi si differenziano solo per area e volume e sono a questo proposito in un rapporto di 2:1 e 3:1 rispettivamente. I valori di biovolume notevolmente superiori nel Lago CI sono facilmente apprezzabili confrontando gli istogrammi di Fig. 7.2.1a (Lago CS) e Fig. 7.2.2a (Lago CI).

In termini di presenze e di ricchezza di comunità, il numero medio di taxa individuati per singola data di campionamento è stato di 24 nel Lago CS e di 27 nel lago CI. La ricchezza minima osservata, in un solo campionamento, è stata di 9 taxa nel Lago CS e di 13 taxa nel Lago CI, con massimi rispettivamente di 41 e 39 taxa. Dopo il primo plateau, gli anni di incremento delle specie più significative appaiono il 1999 e il 2000. Il periodo 2002-2005 si è dimostrato stabile come numero di specie presenti.



**Fig. 7.2.2a**Valori medi annuali di biomassa (mm³/m³) microalgale nel Lago CI

Fig. 7.2.2b Valori % della biomassa dei vari raggruppamenti tassonomici delle microalghe del Lago CI

40,00%

20,00%

10.00%

# Colbricon Superiore 1998-2997 - specie con biomassa > 3%

10/06/1998	18/6/98	26/6/98	7/7/98	15/7/98	24/7/98	4/8/98	19/8/98	26/8/98	21/9/98	3/11/98
Peri umb	Navi spp	Navi spp	Navi spp	Oocy sp	Oocy sp	Navi spp	Laghe sp	Peri umb	Eugl sp	Eugl sp
Navi spp Glen spp	Peri umb Cycl spp	Cymb spp Peri umb	Syne sp Peri umb	Peri umb Staur avic	Peri spp Spond plan	Oocy sp Frag cap	Peri umb Oocy sp	Cocco sp Laghe sp	Peri umb Navi spp	Staur avic Navi spp
Cycl spp	Oocy sp	Stauro deje	Stauro deje	Stauro deje	Navi spp	Cymb spp	Mallo sp	Eugl sp	Cocco sp	Cocco sp
Dinob soc	Trac sp	Peri spp	Peri spp	Navi spp	Cymb spp	Melo spp	Cocco sp	Stauro deje	Syne sp	Neid sp
Frag sp	Tabe flo	Dinob soc	Frag cro	Spond plan		Peri spp	Eugl sp	Navi spp	Chroo disp	Cymb spp
	Dinob soc	Tabe flo	Cycl spp	Peri spp		Cymb ehr		Peri spp		
	Cymb spp	Frag cro	Oocy sp	Frag cro						
			Bitri cho Cymb spp	Gomph spp Cymb spp						
			Cyrrib 3pp	Оуны эрр						
6/6/99	21/6/99	5/7/99	17/7/99	2/8/99	17/8/99	30/8/99	12/9/99	1/10/99	28/10/99	_
Peri umb	Mallo sp	Frag ten	Stauro deje	Peri umb	Peri umb	Peri umb	Peri umb	Navi spp	Eugl sp	
Mallo sp	Frag ten	Navi spp	Peri umb	Stauro deje	Glen spp	Glen spp	Stauro deje	Stauro deje	Navi spp	
Tabe flo Stauro deje	Navi spp Peri umb	Peri umb Oocy sp	Frag ten  Xanthi bre	Laghe sp Eugl sp	Mallo sp Eugl sp	Eugl sp Stauro deje	Eugl sp Mallo sp	Cymb spp Pinn int	Cymb spp Plag nan	
Navi spp	Stauro deje	Mallo sp	Peri spp	Mallo sp	Navi spp	Xanthi bre	Mailo op	Eugl sp	Frag cro	
Cymb spp	Peri spp	Cymb spp		Frag ten		Mallo sp		Tabe flo		_
				Cosm bioc				Frag cro		
				Navi spp						
27/5/00	26/6/00	14/7/00	14/8/00	24/9/00	21/10/00	_				
Peri umb	Peri umb	Peri umb	Peri umb	Peri umb	Glen spp					
Frag cro	Frag cro	Glen spp	Frag cro	Glen spp	Stauro deje					
Dinob soc Cerat hir	Trac sp Dinob soc	Stauro deje Frag cro	Staur tel Stauro deje	Oocy sp Peri spp	Trac sp Peri umb					
Stauro deje	Eugl sp	Cycl spp	Peri spp	Cymb hel	I CII UIIID					
Xanthi octo	Navi rad	Dinob soc	Cycl spp							
Cycl spp	Stauro deje	Navi rad	Trac sp							
Peri spp										
1/6/01	30/6/01	0.4/7/0.4								
1/0/01	30/0/01	31/7/01	7/9/01	5/10/01	5/11/01					
Glen spp	Glen spp	Peri spp	Peri spp	Peri spp	Peri spp					
Glen spp Peri spp	Glen spp Peri spp	Peri spp Eugl sp	Peri spp Staur toho	Peri spp Navi spp	Peri spp Frag cap					
Glen spp	Glen spp	Peri spp	Peri spp	Peri spp	Peri spp					
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc	Glen spp Peri spp Hyalo diss	Peri spp Eugl sp Glen spp	Peri spp Staur toho Glen spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp	Peri spp Frag cap Navi spp					
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp	Peri spp Staur toho Glen spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir	Peri spp Frag cap Navi spp					
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp	Peri spp Staur toho Glen spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp	Peri spp Frag cap Navi spp					
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp	Peri spp Staur toho Glen spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp	Peri spp Frag cap Navi spp	15/10/02	21/11/02			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre	Peri spp Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp	Syne sp	Crypt sp			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp	Peri spp Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp	Syne sp Peri spp	Crypt sp Cycl spp			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp	Syne sp Peri spp Frag cro	Crypt sp Cycl spp Navi spp			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp	Peri spp Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp	Syne sp Peri spp	Crypt sp Cycl spp			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02  Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp	8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02  Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp	8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp	8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb Dinob soc	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp Frag cro	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp Mallo sp	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir  11/8/03 Frag cro Glen spp Mallo sp	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb Peri umb Perid cint	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb Cymb ehr	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp	8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb Dinob soc Syne sp Perid cint Crypt sp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp Frag cro Dinob soc	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp Mallo sp Glen spp	Staur toho Glen spp Mallo sp  Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir  11/8/03 Frag cro Glen spp Mallo sp Crypt sp Perid cint Cymb hel	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb Perid cint Crypt sp Staur avic Kephy sp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb Cymb ehr Peri spp Xanthi octo Frag cro	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb Dinob soc Syne sp Perid cint	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp Frag cro Dinob soc	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp Mallo sp Glen spp	Staur toho Glen spp Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir  11/8/03 Frag cro Glen spp Mallo sp Crypt sp Perid cint	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb Perid cint Crypt sp Staur avic	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb Cymb ehr Peri spp Xanthi octo Frag cro Staur avic	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb Dinob soc Syne sp Perid cint Crypt sp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp Frag cro Dinob soc	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp Mallo sp Glen spp	Staur toho Glen spp Mallo sp  Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir  11/8/03 Frag cro Glen spp Mallo sp Crypt sp Perid cint Cymb hel	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb Perid cint Crypt sp Staur avic Kephy sp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb Cymb ehr Peri spp Xanthi octo Frag cro Staur avic Staur bor	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb Dinob soc Syne sp Perid cint Crypt sp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp Frag cro Dinob soc	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp Mallo sp Glen spp	Staur toho Glen spp Mallo sp  Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir  11/8/03 Frag cro Glen spp Mallo sp Crypt sp Perid cint Cymb hel	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb Perid cint Crypt sp Staur avic Kephy sp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb Cymb ehr Peri spp Xanthi octo Frag cro Staur avic Staur bor Staur spp	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			
Glen spp Peri spp Peri umb Syne sp Dinob soc Navi spp Mallo sp  3/6/02 Peri umb Syne sp Cosm spp Cycl spp Glen spp Perid cint Cymb ehr  15/5/03 Peri spp Peri umb Dinob soc Syne sp Perid cint Crypt sp	Glen spp Peri spp Hyalo diss Navi spp Peri umb  30/6/02 Syne sp Peri spp Cosm spp Perid cint Pinn vir Frag cro  11/6/03 Peri spp Glen spp Frag cro Dinob soc	Peri spp Eugl sp Glen spp Mallo sp Xanthi bre  18/7/02 Syne sp Peri spp Pinn vir Frag cro Cosm spp Cycl spp Cymb hel Navi cry Navi spp  13/7/03 Peri spp Syne sp Mallo sp Glen spp	Staur toho Glen spp Mallo sp  Mallo sp  8/8/02 Peri umb Peri spp Perid cint Syne sp Frag cro Glen spp Pinn vir  11/8/03 Frag cro Glen spp Mallo sp Crypt sp Perid cint Cymb hel	Peri spp Navi spp Frag cap Pinn vir Staur spp Staur tel  27/8/02 Peri umb Peri spp Glen spp Frag cro Syne sp Cymb hel Navi rad Staur tel  13/9/03 Glen spp Peri umb Perid cint Crypt sp Staur avic Kephy sp	Peri spp Frag cap Navi spp Mallo sp  18/9/02 Peri spp Syne sp Navi spp Glen spp Frag cro Pinn vir  21/10/03 Stauro deje Peri umb Cymb ehr Peri spp Xanthi octo Frag cro Staur avic Staur bor	Syne sp Peri spp Frag cro Cycl spp Cosm spp	Crypt sp Cycl spp Navi spp Cosm spp Navi rad			



**Fig. 7.2.3a**Per il Lago CS sono riportate, abbreviate, per tutte le date di campionamento (1998-2007) le specie con una biomassa > del 3%. La diversa colorazione indica le varie fasce %: 3-5%; 5-10%; 10-20%; 20-50% e > di 50%.

# Colbricon Inferiore 1998-2997 - specie con biomassa > 3%

10/06/98 Glen spp	18/06/98 Navi spp	26/06/98 Navi spp	07/07/98 Frag cap	15/07/98 Navi spp	24/07/98 Navi spp	04/08/98 Frag cap	19/08/98 Peri spp	26/08/98 Peri spp	21/09/98 Navi spp	03/11/98 Navi spp
Peri spp Navi spp Desm sp Oocy sp	Dinob soc Scen lin	Pinn majo Peri spp Gomph spp Staur tel Dinob soc	Navi spp Staur tel	Frag cap Peri spp Cymb hel Pinn majo	Frag cap Peri spp Peri gosl Cymb ehr Staur tel Stauro deje Cymb sile Bitri cho	Navi spp Glen spp Peri spp Pinn majo Staur avic	Navi spp Frag cap	Navi spp Peri gosl Frag cap Stauro deje	Peri gosl Frag cap Pinn sud	Pinn sud Frag cap Scen lin Cymb hel Cycl com Cocco pla
06/06/99	21/06/99	05/07/99	17/07/99	02/08/99	17/08/99	30/08/99	12/09/99	01/10/99	28/10/99	
Peri spp Glen spp Peri gosl Navi spp	Glen spp Navi spp Pinn majo Mallo sp Frag ten Frag cap	Glen spp Peri spp Navi spp Staur avic Frag ten Frag cap	Navi spp Glen spp Frag cap Frag ten Peri spp Calo sili Dinob soc Cymb hel Staur avic Navi rad	Navi spp Peri spp Cosm lae Peri gosl Glen spp Dinob soc Frag cap	Peri spp Glen spp Navi spp Peri gosl Cymb hel Scen lin Spond plan Frag ten	Peri spp Peri gosl Glen spp Navi spp Frag cap	Peri spp Scen lin Peri gosl Frag cap Navi spp Frag ten Staur avic	Peri spp Scen lin Navi spp Mallo sp Staur avic	Navi spp Scen lin Pinn majo Staur avic Peri spp Chlam sp Cymb hel Oedo sp Mallo sp	
27/05/00	26/06/00	14/07/00	14/08/00	24/09/00	21/10/00					
Peri gosl Cerat hir Peri spp Staur avic Frag cap Glen spp	Peri gosl Glen spp Hyalo diss Staur bor Stauro deje	Peri gosl Staur bor Hyalo diss Cerat hir	Peri gosl Frag cro Stauro deje Tabe flo Cerat hir Glen spp	Pinn majo Hyalo diss	Oocy sp Peri gosl Cerat hir Staur bor Staur spp Stauro deje Mallo sp Stauro cusp Scen ecor					
01/06/01 Peri spp	30/06/01 Peri spp	31/07/01 Peri spp	07/09/01 Peri spp	05/10/01 Peri spp	05/11/01 Scen acul					
Cymb ehr Mallo sp Glen spp Dinob soc	Stauro deje Glen spp Peri gosl Oocy api Hyalo diss Cymb hel		Stauro deje Eugl sp		Frag cap Scen lin Mallo sp Spond plan Scen ecor Tabe spp Trac sp Stau spp Dipl ova					
03/06/02	30/06/02	18/07/02	08/08/02	27/08/02	18/09/02	15/10/02	04/11/02			
Syne sp Peri gosl Dinob cyl	Syne sp Peri gosl Cosm spp Peri spp	Cosm spp Syne sp Peri gosl	Peri gosl Cosm spp Syne sp Frag cro Scen ecor	Peri gosl Frag cap Dinob soc Cosm spp Scen ecor Syne sp Pinn majo Pinn sud	Syne sp Scen ecor Peri gosl Dinob soc Dinob cyl Cosm spp Perid volz Frag cro	Syne sp Scen ecor Cosm spp Peri gosl Dinob soc Chlor sp	Syne sp Pinn majo Cosm spp Scen ecor Dinob soc Frag cro			

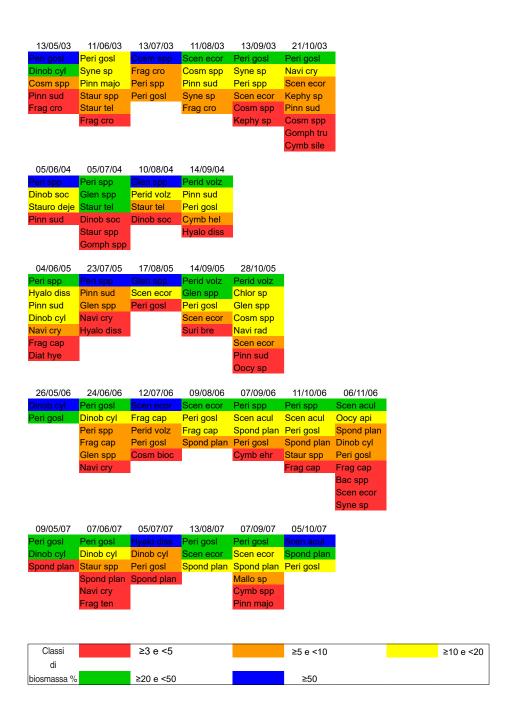


Fig. 7.2.3b

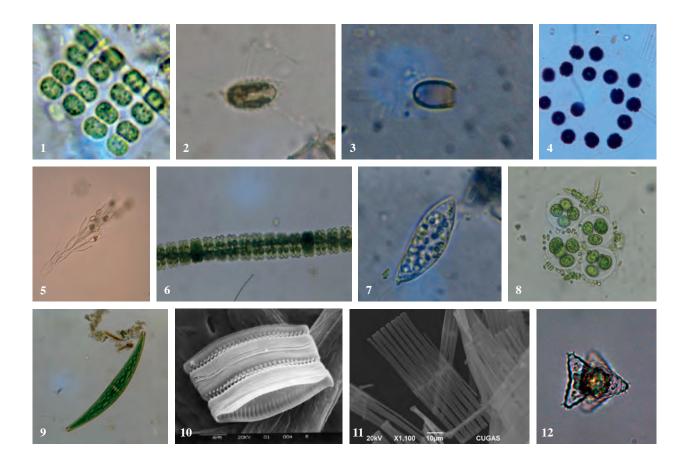
Per il Lago CI sono riportate, abbreviate, per tutte le date di campionamento (1998-2007) le specie con una biomassa > del 3%. La diversa colorazione indica le varie fasce %: 3-5%; 5-10%; 10-20%; 20-50% e > di 50%.

CYANOPHYCEAE Anabaena sp.	Anab sp
Aphanocapsa sp.	Aphanoc sp
Aphanothece sp.	Aphanot sp
Chroococcus dispersus	Chroo disp
Chroococcus minutus	Chroo minu
Limnothrix sp.  Merismopedia sp.	Limno sp Meris sp
Microcystis sp.	Micro sp
Phormidium sp. Planktothrix sp.	Phor sp Plank sp
	Arthr sp
Arthrospira sp.	
Synechococcus sp. CHLOROPHYCEAE	Syne sp
Ankistrodesmus falcatus	Ankis falc
Ankistrodesmus sp.	Ankis sp
Chlamydomonas sp.	Chlam sp
Chlorella sp.	Chlor sp
Laghereimia sp.	Laghe sp
Monoraphidium contortum	Mono cont
Monoraphidium sp.	Mono sp
Oedogonium sp.	Oedog sp
Oocystis sp.	Oocy sp
Pandorina morum	Pand mor
Pediastrum sp.	Pedi sp
Scenedesmus ecornis	Scen ecor
Scenedesmus quadricauda	Scen quad
Scenedesmus sp.	Scen sp
Tetraedron minimum	Tetra min
Tetraedron sp.	Tetra sp
ZYGNEMATOPHYCEAE	
Cosmarium spp.	Cosm spp
Hyalotheca dissiliens	Hyalo diss
Spondylosium planum	Spond plan

Staurastrum teliferum	Staur tel
Staurastrum aviicula	Staur avic
Staurastrum spp.	Staur spp
Staurodesmus dejectus var.apiculatus	Stauro deje
Staurodesmus sp.	Stauro sp
Xantidium brebissonis	Xanthi bre
Xanthidium octocorne	Xanthi octo
CHRYSOPHICEAE	
Bitrichia chodati	Bitri cho
Dinobryon cylindricum var. alpina	Dinob soc
Kephyrion sp.	Kephy sp
Mallomonas sp.	Mallo sp
CRYPTOPYHCEAE	
Chroomonas sp.	Chroom sp
Cryptomonas sp.	Crypt sp
Plagioselmis nannoplanctica	Plag nan
DINOPHYCEAE	
Ceratium hirundinella	Cerat hir
Glenodinium spp.	Glen spp
Peridinium cintum (volzii)	Perid cint
Peridinium umbonatum (goslaviense)	Peri umb
Peridinium spp.	Peri spp
BACILLARIOPHYCEAE	
Achnanthes spp.	Achna spp
Amphora ovalis	Amph ova
Amphora spp.	Amph spp
Anomoeoneis spp. (Brachysira sp.)	Anom spp
Caloneis sp.	Calo sp
Cocconeis placentula	Cocco pla
Cocconeis sp.	Cocco sp
Cyclotella comensis	Cycl com
Cyclotella spp.	Cycl spp
Cymbella ehrenbergii	Cymb ehr

Cymbella spp.	Cymb spp
Diatoma hyemalis	Diat hye
Diatoma spp.	Diat spp
Diploneis ovalis	Dipl ova
Diploneis sp.	Dipl sp
Epithemia sorex	Epit sor
Epithemia sp.	Epit sp
Eunotia exigua (arcus)	Euno exi
Eunotia spp.	Euno spp
Fragilaria capucina	Frag cap
Fragilaria crotonensis	Frag cro
Fragilaria tenera/ulna	Frag ten
Fragilaria sp.	Frag sp
Gomphonema truncatum	Gomph tru
Gomphonema spp.	Gomph spp
Melosira spp.	Melo spp
Navicula cryptocephala	Navi cry
Navicula lanceolata	Navi lan
Navicula pupula (Sellaphora)	Navi pup
Navicula radiosa	Navi rad
Navicula spp.	Navi spp
Neidium sp.	Neid sp
Nitzschia recta	Nitz rec
Nitzschia spp.	Nitz spp
Pinnularia interrupta (mesolepta)	Pinn int
Pinnularia viridis	Pinn vir
Pinnularia spp.	Pinn spp
Stauroneis spp.	Stau spp
Surirella spp.	Suri spp
Tabellaria flocculosa	Tabe flo
EUGLENOPHYCEAE	
Euglena sp.	Eugl sp
Trachelomonas sp.	Trac sp

Fig 7.2.3c - Sono riportati i nomi per esteso (generi e/o specie) e le rispettive abbreviazioni. Legenda delle precedenti Figg. 7.2.3a -7.2.3b.



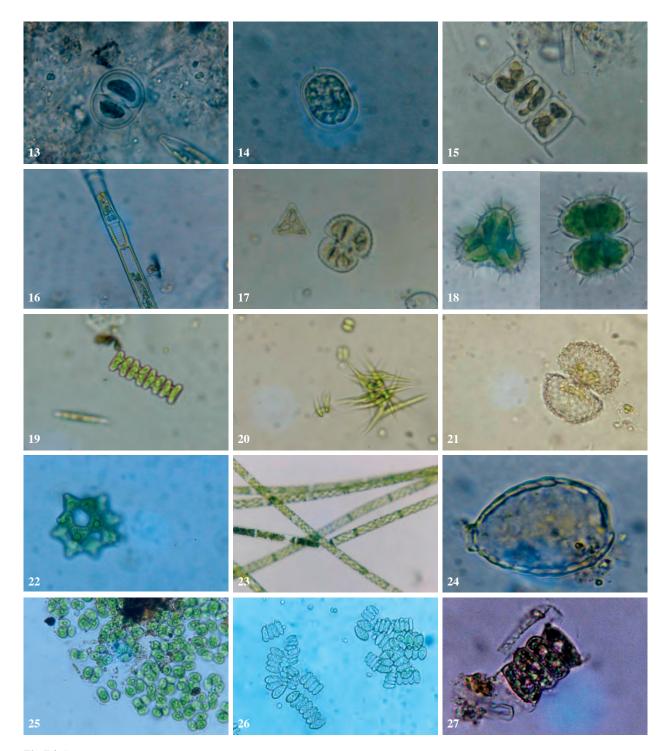


Fig 7.2.4 La comunità microalgale.

(1) Merismopedia sp. Meyen, 1839, (2) Mallomonas sp. Perty, 1852, (3) Kephyrion sp. Pascher, 1911, (4) Pandorina morum (O.F. Müller) Bory in riproduzione, (5) Dinobryon sp. Ehrenberg, 1834, (6) Desmidium swartzii C. Agardh ex Ralfs, (7) Euglena sp. Ehrenberg, 1830, (8) Oocystis sp. Nägeli ex A. Braun, 1855, (9) Closterium costatum var. borgei (Willi Krieger) Ruzickap., (10) Fragilaria capucina Desmazières al SEM, (11) Fragilaria crotonensis Kitton al SEM, (12) Staurastrum avicula Brébisson, (13) Chroococcus sp. Nägeli MFG 5d, (14) Trachelomonas sp. MFG 2c, (15) Cyclotella sp. MFG 7a, (16) Oedogomium sp MFG 10a, (17) Cosmarium sp. MFG 9a, (18) Staurastruma setigerum (100X) MFG 8a, (19) Spondilosium sp. MFG 9a, (20) Ankistrodesmus sp. MFG 11c, (21) Cosmarium sp. MFG 9a, (22) Coelastrum sp MFG 3b, (23) Spirogyra sp. MFG 10a, (24) Mallomonas sp. (100X) MFG 2a, (25) Oocystis sp. MFG 11c, (26) Scenedesmus sp. MFG 11c, (27) Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson.

Per valutare la differenza di distribuzione dell'abbondanza, i dati sono stati analizzati per calcolare gli indici di struttura comunitaria (ricchezza, dominanza, diversità e uniformità nella distribuzione dell'abbondanza). Questi parametri, come evidenziato in Trevisan *et al.*, (2014), cui si rimanda, concordano nell'indicare che il fitoplancton del Lago CI ha tendenze di ricchezza e diversità più elevate, accompagnate da una minore dominanza e uniformità nelle comunità.

Nelle figure 7.2.3a per il Lag CS e 7.2.3b per il Lago CI, sono riportate, abbreviate, per tutte le date di campionamento, nel periodo 1998-2007, le specie riscontrate con una biomassa maggiore del 3%. La diversa colorazione indica le varie classi di biomassa %.

Per il Lago CS le specie con biomassa > del 50% sul campione sono: *Oocystis* sp. Nägeli ex A.Braun, nell'estate 1998; *Peridinium umbonatum* Stein, primavera autunno del 1999 e primavera del 2006; *Mallomonas* sp. Perty, primavera del 1999; *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot, luglio del 1999 e 2007; *Euglena* sp. Ehrenberg, agosto 1998; *Peridinium* spp. Ehrenberg, estate-autunno del 2001, giugno del 2003, settembre del 2004 e estate del 2005; *Dinobryon sociale* (Ehrenberg) Ehrenberg, tardo autunno del 2006 e agosto del 2007; *Cryptomonas* sp. Ehrenberg, tardo autunno del 2002; *Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli è un tipica specie tardo primaverile-estiva.

Per il Lago CI le specie con biomassa > del 50% sul campione sono: *Navicula* spp. Bory, un singolo elevato sviluppo nel giugno 1998; *Peridinium* spp. Ehrenberg, estate del 1998, 1999, 2001 e 2005; *Peridinium goslaviense* Wolszynska (*umbonatum* Stein), in un campionamento primavera-estate del 2000 e 2003; *Synechococcus* sp. C. Nägeli, nelle due raccolte di giugno 2000; *Glenodinium* sp. Ehrenberg, estate 2004 e 2005; *Dinobryon cylindricum* var. *alpina* o *Dinobryon alpinum* (O.E.Imhof) Pascher, maggio 2006; *Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat, estate 2006; *Hyalotheca dissiliens* Ehrenberg ex Ralfs, luglio 2007 e *Scenedesmus acuelatus* Reinsch, nell'autunno del 2007.

Confrontando i risultati dell'analisi del fitoplancton di 10 anni (per praticità sono riportati solo i generi) dei campionamenti eseguiti sul Lago CS, con i dati trovati in bibliografia, notiamo come nel 1981 sia stato raccolto un unico campione in estate (con un retino a maglie di 76 µm) in Giussani *et al.*, 1986. Nel 1995 sono stati analizzati cinque campioni nel periodo libero dal ghiaccio; nel 1996 un solo campionamento estivo e nel 1998 tre campionamenti: primavera, estate-autunno, dal personale dell'Istituto di San Michele all'Adige; questi prelievi sono stati analizzati con gli stessi metodi da noi usati (ISMA, 1996, 97 e IASMA, 2000) Tab. 7.2.1.

Le Cianoficee sono presenti in tutte le ricerche, ma sempre con scarsa biomassa.

Le Cloroficee sono un raggruppamento ben rappresentato: *Oocystis* sp. Nägeli ex A. Braun, *Pandorina morum* (O.F.Müller) Bory, *Scenedesmus* spp. Meyen,

Family	CS CI 10 anni Trevisan	Giussani 1981	ISMA 95	ISMA 96	IASMA 98
Cyanobacteria	CYANOPHYCEAE	CYANOPHYCEAE	CYANOPHYCEAE	CYANOPHYCEAE	CYANOPHYCEAE
Nostocaceae	Anabaena sp.				
Merismopediaceae Aphanothecaceae	Aphanocapsa sp. Aphanothece sp.				
Chroococcaceae	Chroococcus dispersus				Crhysochromulina sp.
Pseudanabaenaceae,	Limnotrix	descrita come Oscillatoria o Lyngbya taxa.			www.cyanodb.cz/Limnothrix
Merismopediaceae	Merismopedia sp.	Microcystis sp.			
Microcystaceae Oscillatoriaceae	Microcystis sp. Phormidium sp.	Lyngbia limnetica			Oscillatoria limnetica
Phormidiaceae	Planktothrix sp.	http://www.cyanodb.cz/planktothrix			Oscillatoria immerica
Pseudanabaenaceae	Pseudanabaena sp.				Pseudanabaena sp.
Phormidiaceae, Synechococcaceae	Arthrospira sp. Synechococcus sp.	detta anche Spirulina platensis			www.cyanodb.cz/Arthrospira
Syliechococcaceae	Synechococcus sp.				
CHLOROPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
Botryococcaceae Selenastraceae	Ankistrodesmus sp.		Ankistrodesmus sp.	Ankistrodesmus sp.	Botryococcus sp.
Chlamydomonadaceae	Chlamydomonas sp.		Ankisiroaesmus sp.	Ankistroaesmus sp.	Chlamydomonas sp.
Chlorellaceae	Chlorella sp.			Chlorella sp.	
Oocytstaceae	Laghereimia sp.				
Selenastraceae Oedogoniaceae	Monoraphidium sp.  Oedogonium sp.				algalweb.net/oedogon.htm
Sphaerocystidaceae	Octogonium sp.	Sphaerocystis schroeteri			aigaiweo.neroedogon.ntm
Oocystaceae	Oocystis sp.				Oocystis sp.
Hydrodictyaceae	D 1 :	Pediastrum sp.			
Volvocaceae Scenedesmaceae	Pandorina morum Scenedesmus sp.	Scenedesmus sp.	Scenedesmus sp.	Scenedesmus sp.	
Hydrodictyaceae	Tetraëdron sp.	остолению эр.	респеценны эр.	оселеневния вр.	Tetraedron sp.
					,
ZYGNEMATOPHYCEAE Desmidiaceae	ZYGNEMATOPHYCEAE	ZYGNEMATOPHYCEAE		ZYGNEMATOPHYCEAE	
Desmidiaceae Desmidiaceae	Staurastrum	Euastrum sp.	Sphaerozosma sp.	Sphaerozosma sp.	Sphaerozosma sp.
Desmidiaceae	Cosmarium spp.	Zikkish kin op.			Cosmarium spp.
Desmidiaceae	Hyalotheca dissiliens	Hyalotheca dissiliens			
Desmidiaceae	Spondylosium planum (Cosmarium asphaerosporum)				
Desmidiaceae	Staurodesmus sp.				
Desmidiaceae	Xantidium brebissonis	Xantidium sp.			
Desmidiaceae	Xanthidium octocorne	-			
Closteriaceae	(Arthrodesmus)	Closterium sp.			
Desmidiaceae		Pleurotaenium sp.			
Desmidiaceae		Micrasterias sp.			
CHRYSOPHICEAE	CHRYGORIUGE A F	CHRYSORIUGEAE	CHRYGORIUGE LE	CHRYGORIUGE LE	CHRYCORIUCEAE
Stylococcaceae	CHRYSOPHICEAE Bitrichia chodati	CHRYSOPHICEAE	CHRYSOPHICEAE Bitrichia chodati	CHRYSOPHICEAE Bitrichia chodati	CHRYSOPHICEAE Bitrichia chodati
	Dinobryon sociale				
Dinobryaceae	(Dinobryon cylindricum var. alpina)		Dinobryon sp.	Dinobryon sp.	Dinobryon sp
Dinobryaceae Mallomonadaceae	Kephyrion sp. Mallomonas sp.				Kephyrion sp.  Mallomonas sp.
Manomonadaceae	Mattomonas sp.				wattomonas sp.
CRYPTOPYHCEAE	СКУРТОРУНСЕАЕ	CRYPTOPYHCEAE	СКҮРТОРНҮСЕАЕ	CRYPTOPYHCEAE	CRYPTOPYHCEAE
Hemiselmidaceae	Chroomonas sp.				
Cryptomonadaceae Geminigeraceae	Cryptomonas sp. Plagioselmis nannoplanctica				Cryptomonas sp. Rhodomonas sp.
Genningeraceae	Tiagioseimis nannopianctica				Knodomonas sp.
DINOPHYCEAE	DINOPHYCEAE	DINOPHYCEAE	DINOPHYCEAE	DINOPHYCEAE	DINOPHYCEAE
Gymnodiniaceae	G .: 1: P 7	Gymnodinium sp.			
Ceratiaceae Peridiniales incertae sedis	Ceratium hirundinella Glenodinium spp.		Glenodinium spp.		Gymnodinium sp.
Peridiniaceae	Peridinium spp.	Peridinium spp.	Peridinium spp.		Peridinium spp.
			**		
BACILLARIOPHYCEAE Catenulaceae	BACILLARIOPHYCEAE  Amphora ovalis	BACILLARIOPHYCEAE	BACILLARIOPHYCEAE	BACILLARIOPHYCEAE	Bacıllariophyceae
Brachysiraceae	Anomoeoneis spp. (Brachysira sp.)				
Bacillariaceae		Ceratoneis sp.			
Achnanthaceae	Achnanthes spp.				
Naviculaceae Cocconeidaceae	Caloneis sp. Cocconeis sp.				
Stephanodiscaceae					Cyclotella glomerata
Stephanodiscaceae	Cyclotella spp.	0.1.11	Cyclotella spp.	Cyclotella spp.	
Cymbellaceae Tabellariaceae	Cymbella spp.	Cymbella spp.			
Diploneidaceae	Diatoma spp. Diploneis sp.				
Rhopalodiaceae	Epithemia sp.				
Eunotiaceae	Eunotia spp.	Eunotia spp.			Fili-
Fragilariaceae Fragilariaceae	Fragilaria sp.	Fragilaria sp.	Fragilaria sp.		Fragilaria capucina
Gomphonemataceae	Gomphonema spp.				
Melosiraceae	Melosira spp.				
Naviculaceae Neidiaceae	Navicula spp.	Navicula spp.	Navicula spp.	Navicula spp.	
Bacillariaceae	Neidium sp. Nitzschia spp.				
Pinnulariaceae	Pinnularia spp.	Pinnularia spp.			
Stauroneidaceae	Stauroneis spp.				
Surirellaceae Tabellariaceae	Surirella spp. Tabellaria flocculosa	Surirella spp.		Tabellaria flocculosa	
Tabellallaceac	Bacillariophycea spp.			тажини јижином	
Fragilariaceae		Synedra sp.	Synedra sp.	Synedra sp.	
EUGLENOPHYCEAE	EUGLENOPHYCEAE	EUGLENOPHYCEAE	EUGLENOPHYCEAE	EUGLENOPHYCEAE	EUGLENOPHYCEAE
Euglenaceae Euglenaceae	Euglena sp. Trachelomonas sp.				Trachelomonas sp.
-up.onacoac	1 - racitetomonus sp.				Tracicionionas sp.

#### Tab. 7.2.1

Confronto con campionamenti di altri autori negli anni precedenti il 1998. Nomenclatura aggiornata secondo Guiry, M.D. & Guiry, G.M. AlgaeBase. Pubblicazione elettronica mondiale, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org e Komárek J. & Hauer T. (2013); CyanoDB.cz - On-line database of cyanobacterial genera. - Word-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR, http://www.cyanodb.cz.

Ankistrodesmus sp. Corda e Sphaerozosma sp. Corda ex Ralfs sempre ritrovato anche dai ricercatori dell'Istituto di San Michele all'Adige (ISMA).

Le Zignematophyceae (Desmidiaceae) sono state riscontrate con una decina di generi (dominante *Cosmarium* spp. Corda ex Ralfs) da noi e da ISMA. Per le Crysophyceae c'è molto accordo tra i risultati nostri e quelli di ISMA;

nel 1981, essendo stato fatto il campionamento con un retino a maglie larghe, possono essere sfuggite alla raccolta. Questo gruppo tassonomico è da considerare importante (vedere cap. 8 sull'analisi dei sedimenti riguardo le cisti durature delle Crysophyceae presenti nella carota raccolta nel fondo del Lago CI). Le Cryptophyceae sono poche, piccole e poco rappresentative.

Sulle Dinoficeae c'è accordo tra i vari lavori, sono tutte specie di grandi dimensioni, facilmente identificabili almeno a livello di genere. Per le Bacillariophyceae i diversi studi concordano, sono tante come numero di specie e alcune hanno un'elevata densità e/o biomassa. Le Euglenophyceae non hanno particolare rilevanza.

#### **Diatomee**

Alla luce di queste considerazioni sull'importanza dei vari raggruppamenti e dal confronto dei risultati dei lavori degli autori che avevano precedentemente analizzato il fitoplancton dei Laghi di Colbricon, possiamo notare come Bacillariophyceae e Dinophyceae siano le classi che meritano di essere analizzate in maniera più dettagliata. A tale riguardo si rimanda alle pubblicazioni a cura di Trevisan *et al.*, 2010 e 2012.

Su un totale di 128 specie identificate complessivamente nei 138 campioni raccolti (1998-2007) nei Laghi di Colbricon, 78 appartengono alle Bacillariophyceae. Alcuni taxa si sono rivelati in modo ricorrente e numericamente dominanti. In alcune date di campionamento la loro densità raggiungeva valori superiori a 1000 cell ml¹, mentre altre volte erano assenti. Tra le specie dominanti: *Cyclotella* spp. (Kützing) Brébisson e *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing sono risultate prevalere soprattutto in primavera e in autunno, o in corrispondenza di periodi di ridotta biomassa. Diverse specie di *Fragilaria* Lyngbye (*F. crotonensis* Kitton, *F. capucina* Desmazières, *F. ulna* sinonimo di *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *F. tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot) hanno mostrato spesso valori preponderanti di abbondanza in estate e sono state responsabili di picchi di crescita. La densità media annua delle diatomee ammonta a 233.7 cell ml¹ nel Lago CS e 273.5 cell ml¹ -1 nel Lago CI; il corrispondente biovolume medio annuo è 146,2 mm³ m-³ nel Lago CS e 242,6 mm³ m-³ nel Lago CI.

Per avere una valutazione in termini ecologici abbiamo applicato l'Indice Biologique des Diatomees (IBD) (Prygiel & Coste, 1998).

Tale indice è stato ideato come indicatore di qualità dell'acqua sulla base delle comunità di diatomee. Originariamente progettato per i fiumi, successivamen-

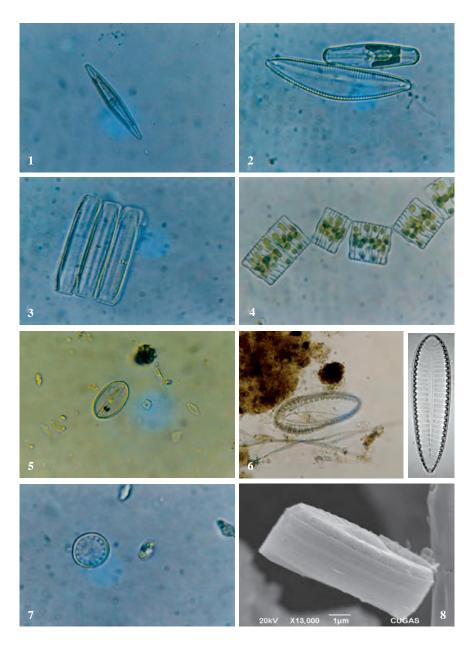


Fig 7.2.5
Diatomee
(1) Navicula sp. MFG 6b, (2) Cymbella sp. MFG 7b, (3) Fragialria sp. MFG 7b, (4) Tabellaria sp (100X) MFG 7b, (5) Diploneis sp. (40X) MFG 7b, (6) Surirella sp. MFG 6b, (7) Cyclotella sp. (al MO) MFG 7a, (8) Cyclotella sp. (al SEM) MFG 7a.

te è stato applicato anche ai laghi. L'IBD varia tra un minimo di 1 (qualità molto cattiva dell'acqua) ed un massimo di 20 (qualità dell'acqua molto buona). Il valore IBD per la media di 10 anni nel Lago CS è stata di 14,5 mentre nel Lago CI di 15,4. La qualità ecologica di entrambi i laghi è classificata come 'buona'. I due laghi di alta montagna risultano solo moderatamente colpiti dall'inquinamento, anche se non immuni. Il più basso indice del lago CS potrebbe essere coerente con la presenza di un rifugio e con il conseguente maggiore numero di escursionisti, presenti sulle rive in estate, rispetto al Lago CI.

Le concentrazioni di azoto e fosforo sono in accordo con la classificazione trofica secondo Håkanson, 1980 e OECD, 1982: oligo-mesotrofi, in conformità con ISMA, 1996, 97 e IASMA 2000 e con i risultati ottenuti dall'analisi dei sedimenti (vedere capitolo 8).

La presenza massiccia in questi laghi di *Cyclotella* spp. (Kützing) Brébisson, e il raro ritrovamento di *Aulacoseira* spp. Thwaites, indicano acque ben tamponate/non acidificate e un ambiente non eccessivamente carente di nutrienti. Queste condizioni sono tipiche dei laghi del bacino dell'Avisio e concordano con i valori chimici registrati (Tolotti, 2006).

La co-dominanza di *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing e *Fragilaria crotonensis* Kitton è interessante in quanto hanno esigenze opposte per la silice, ma condividono una domanda relativamente bassa di fosforo (Willén 1991). Inoltre, *Cyclotella* spp., tipica di laghi oligotrofici, è tollerante alla carenza di nutrienti e può crescere in condizioni invernali (Reynolds, 2002), coerentemente con la loro rapida apparizione in primavera, come spesso è stato osservato nei Laghi di Colbricon (Trevisan *et al.*, 2010).

F. crotonensis Kitton domina in entrambi i laghi, Cyclotella spp. si trova al secondo posto nel Lago CS in termini di densità, mentre nel Lago CI è presente C. comensis sinonimo di Pantocsekiella comensis (Grunow) K.T.Kiss & E.Ács e F. capucina Desmazières. Quest'ultima è sei volte più abbondante nel Lago CI. Altri taxa di diatomee presenti con frequenze inferiori nel Lago CI sono Pinnularia sudetica Hilse, Stauroneis anceps Ehrenberg, Diatoma mesodon sinonimo di Odontidium mesodon (Kützing) Kützing e Cymbella silesiaca sinonimo di Encyonema silesiacum (Bleisch) D.G.Mann.

Per quanto riguarda le relazioni tra l'abbondanza di diatomee con le variabili fisico-chimiche, si è registrata una significativa correlazione con le temperature dell'acqua, che ha un ruolo importante come fattore ambientale e che appare strettamente accoppiata con interessanti correlazioni con la dinamica delle diatomee intra- e inter- annuali (Trevisan, *et al.* 2010). La relazione negativa tra trasparenza e diatomee è spiegata con il fatto che la luce è nota essere dannosa per il loro fotosistema (Harris, 1986).

In termini di risposta ai parametri fisico-chimici un'altra differenza tra i due laghi riguarda l'effetto del livello dell'acqua. Nel Lago CI una correlazione negativa significativa appare tra questa variabile e la densità di diatomee, mentre nessun effetto è evidente nel Lago CS (Trevisan *et al.*, 2010).

#### **Dinoficee**

Le Dinophyceae sono state studiate separatamente essendo organismi indicatori di perturbazioni ecologiche legate alla loro elevata sensibilità alle variazioni ambientali; sono proxy particolarmente adatti per i cambiamenti climatici. Le loro caratteristiche di utilità sono: abbondanza, capacità di movimento autonomo, adattamento all'oligotrofia, possibilità di formazione di cisti e loro permanenza nei sedimenti. I dinoflagellati d'acqua dolce migrano in modo efficiente verticalmente lungo la colonna d'acqua, di solito la visualizzazione della chemiotassi è verso il basso durante la notte, per seguire i nutrienti, e una fototassi verso l'alto, nella zona eufotica, di giorno per ottimizzare i processi fotosintetici (Tardio et al., 2005). Diversi studi ecologici su questi taxa fitoplanctonici in laghi di alta montagna hanno trovato comuni tendenze e fattori che influiscono sulla loro crescita (Catalan et al., 2009; Kernan et al., 2009). Nei due ambienti Colbricon, tra i 128 taxa algali classificati complessivamente otto sono Dinophyceae: Gymnodinium mirabile Penard, Gymnodinium obesum Schiller, Gymnodinium sp., Tovellia Sanguinea Moestrup, Gert Hansen, Daugbjerg, Flaim et D'Anndrea, Peridinium volzii Lemmermann (= P. cinctum), Peridinium goslaviense Woloszynska (= P. umbonatum), Peridinium spp. e Ceratium hirundinella (O.F. Muller) Dujardin. Il taxon dominante, Peridinium goslaviense Woloszynska, è dato come indicatore di laghi ricchi di nutrienti (Willén, 1991). Peridinium volzii Lemmermann e Ceratium hirundinella (O.F. Muller) Dujardin si registrano tra gli indicatori delle condizioni oligomesotrofe calcaree-eutrofici (Rosén, 1981). Le analisi effettuate da Trevisan et al., 2012 hanno evidenziato come le comunità delle Dinophyceae nel Lago CI risultassero significativamente più resistenti ai cambiamenti esercitati dalla fluttuazione della trasparenza delle acque del lago e del pH; il Lago CI ha raggiunto una maggiore

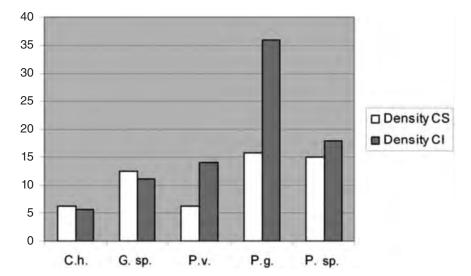
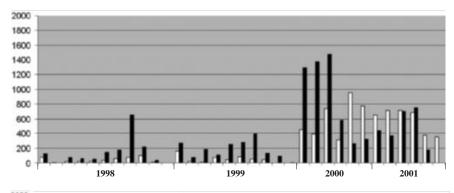


Fig. 7.2.6
Densità media su 10 anni (cells/ml) dei più frequenti taxa nei Laghi CS e CI.

C. h: Ceratium hirundinella; G. sp.; Gymnodinium sp.; P.v.: Peridinium volzii; P. g.: Peridinium goslaviense; P. sp.: Peridinium sp. (Trevisan et al., 2012).



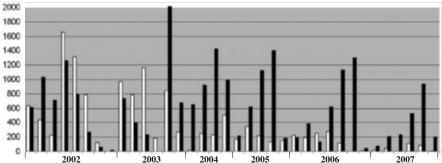


Fig. 7.2.7 Valori di biomassa (mg/m³, sull'asse Y) delle Dinophyceae nei due Laghi di Colbricon durante i 10 anni di campionamenti.

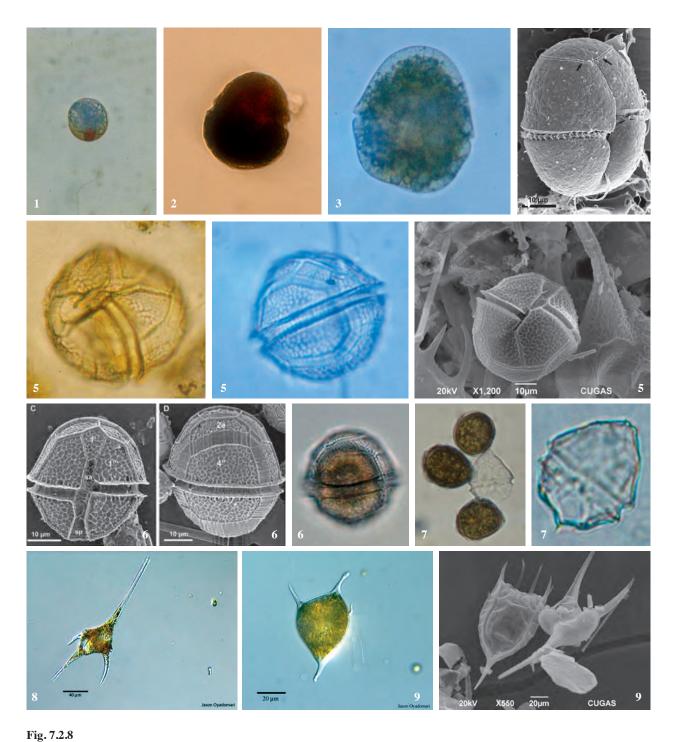
Barra bianca: Lago CS; barra nera: Lago CI (Trevisan *et all*. 2012).

produttività con una densità media di Dinophyceae 1,73 volte superiore a quella del Lago CS.

Nel 2004 è stata raccolta nel Lago CS una ciste di *Tovellia Sanguinea* che è stata messa ad incubare presso i laboratori della Dott. Flaim della Fondazione Edmund Mach a San Michele all'Adige, ma non è sopravvissuta a lungo. Questo conferma che in molti laghi del trentino è presente *Tovellia Sanguinea*, magari con una bassa densità.

Hansen & Flaim (2007) nel 2003-04 hanno analizzato la presenza di dinoflagellati in 27 laghi del Trentino e hanno riportato la presenza di 34 taxa. Nei loro campioni del Lago CS hanno riscontrato la presenza di: *Gymnodinium mirabile* Penard, *G. obesum* Schiller, *Peridinium* sp., Subgen. *Cleistoperidinium*, con cellule senza poro apicale, *Peridinium volzii* Lemmermann, *P. goslaviense* Woloszynska, *Ceratium hirundinella* (O.F. Muller) Dujardin e *Tovellia Sanguinea* Moestrup, Gert Hansen, Daugbjerg, Flaim et D'Anndrea, trovata anche in laghi con diversi substrati geologici, conducibilità e stato trofico.

Peridinium volzii Lemm. è stato da noi riscontrato in abbondante quantità negli anni 2002, 2003 e 2004 nel Lago CS; presente e abbondante nel Lago CI negli anni 2004, 2005 e 2006. Peridinium goslaviense Woloszynska è la Dinoficea più frequente e abbondante, nei dieci anni di studio, nei due Laghi, anche se l'andamento e la frequenza sono lievemente differenziate nel tempo e nei due ambienti. La densità media delle Dinophyceae, nei 10 anni del nostro studio, nel Lago CS è di 23,753 cell./ml e rappresenta il



Dinoficee
(1) *Gymnodinium mirabile* Penard (20-50 µm) MFG 1b, (2) *G. mirabile* MFG 1b, (3) *G. obesum* Schiller al MO MFG 1b, (4) al SEM (Hansen&Flaim, 2007), (5) *Peridinium volzii* Lemm (33-43 X 30-40 µm) al SEM MFG 1b, (6) *Peridinium volzii* Lemm (33-43 X 30-40 µm) MFG 1b Foto al MO (Trevisan *et al.*, 2012) e al SEM (Hansen & Flaim, 2007), (7) *Peridinium goslaviense* Woloszynska (30 X 25 µm) MFG 1b, (8) *Ceratium hirundinella* (O.F. Muller) Dujardin (155-200x45-63 µm) MFG 1b, (9) Cisti di *Ceratium hirundinella* (O.F. Muller) Dujardin e foto al SEM (Trevisan *et al.*, 2012)

3,2% del totale medio algale; nel Lago CI è di 22,532 cell./ml e rappresenta il 4,4% del totale medio algale.

Passando ad analizzare i valori di biomassa, notiamo che nel Lago CS i valori medi del periodo sono 302,6 mg/m³ e contribuiscono al 39% del totale; mentre nel Lago CI sono di 492,44 mg/m³ corrispondenti al 40% del totale. La dominanza delle Dinophyceae come biomassa non è costante nei vari anni, né nei due ambienti, pur così vicini e simili: nel Lago CS questo raggruppamento prevale negli anni che vanno dal 2000 al 2006; mentre nel Lago CI in tutti gli anni si nota un periodo di dominanza con picchi superiori al 50% in alcune date di campionamento. Non si può tuttavia individuare una periodicità regolare delle successioni algali. Si registra inoltre la co-dominanza con le Bacillariophyceae. Nei Laghi di Colbricon *Ceratium hirundinella* (O.F. Muller) Dujardin è stata trovata in scarsa quantità nel 1998-99-2000, risultavano presenti anche le cisti resistenti. Questa specie è caratteristica di piccoli laghi temperati oligo-meso con fosforo limitante (Hansen & Flaim, 2007).

# Gruppi Morfo Funzionali

Le classificazioni tassonomiche delle specie algali spesso non riflettono le loro funzioni ecologiche ed è opportuno aggiungere lo studio della loro forma e funzione. L'uso di classificazioni basate su caratteristiche morfologiche e funzionali (dimensioni e forma, mobilità, potenziale mixotrophy, richiesta di nutrienti, presenza di capsule gelatinose) pressione da pascolo (grazing), di cianobatteri ed alghe eucariotiche, può rappresentare uno strumento utile per analizzare l'evoluzione della comunità e per confrontare associazioni di fitoplancton di laghi diversi, superando i problemi relativi a possibili differenze di accuratezza tassonomica e identificazione (Salmaso & Padisak, 2007).

Un'unità taxonomica può essere composta da specie con caratteristiche strutturali e proprietà funzionali molto diverse. Come esempio consideriamo le Chlorophyceae che comprendono tipi caratterizzati da differenze molto grandi in struttura e strategie di vita, che vanno da singole cellule picoplanctoniche (0.2-2 µm) a lunghi filamenti e grandi colonie multicellulari (Stockner & Antia, 1986). Per superare questi problemi, gli ecologisti hanno provato a raggruppare organismi con simili caratteristiche strutturali e funzionali per ottenere una migliore comprensione, e possibilmente generalizzazione, del funzionamento degli ecosistemi.

Il metodo di studio legato ai gruppi morfo-funzionali (**MFG**), mostra essere un buono strumento nella valutazione delle condizioni ecologiche, anche nel caso di ambienti di piccole dimensioni. La definizione di gruppi funzionali, in base alla ricca bibliografia oggi esistente (Reynolds, 1980; 1984; Padisak & Reynolds, 1998; Weithoff, 2003; Salmaso & Padisak, 2007), può essere: "un set di specie che mostra una risposta simile all'ambiente ed un effetto simile al funzionamento di questo".

MFG	Descrizione						
10a	Chlorophyta filamentose						
11a	Chlorococcale—colonie nude						
1b	Grandi Dinophyta						
2a	Piccole Chrysophytae/Haptophyta						
2c	Piccole Euglenophyta						
2d	Cryptophyta						
7a	Piccole Bacillariophyceae Centrics						
7b	Piccole Bacillariophyceae Pennates						
9a	Piccole unicellulari—Conjugatophyta						
9b	Piccole unicellulari —Chlorococcale						

**Tab. 7.2.2** Gruppi morfofunzionali (MFG) riscontrati nei Laghi di Colbricon

Fino ad oggi i vari autori concordano e ne hanno caratterizzati complessivamente 31.

Concetto di adattamento delle specie C-R-S (da Salmaso & Padisak, 2007) In questo modello, le sp. C strateghe (specie competitive) dominano nei laghi con bassi intensità di disturbo e stress. Le S-strateghe (specie tolleranti allo stress) si sviluppano in situazioni di basso disturbo e alto stress, mentre le R- strateghe ("ruderals") dominano ad alto livello d'intensità di luce e di basso stress (Reynolds *et al.*, 2002).

I 128 taxa fitoplanctonici identificati nei Laghi di Colbricon si sono dimostrati appartenere a 19 gruppi morfo-funzionali (MFG) secondo Salmaso & Padisak, (2007). Di questi 10 hanno mostrato una correlazione significativa dal confronto dei campionamenti di ciascun lago alla stessa data.

Con il termine di sincronia dei MFG definiamo il grado di somiglianza nella fluttuazione di un dato gruppo morfo funzionale nel Lago CS e nel Lago CI. Tre gruppi dominano in entrambi i laghi: 7b (piccole diatomee pennate), 1b (grandi dinoficee) e 6b (grandi diatomee pennate). Per quanto riguarda le tendenze generali, il MFG più abbondante è stato 7b (30,57%) nel biovolume algale dell'intero periodo di 10 anni in CS e 29,81% in CI, seguito da 1b (CS 14,25% e CI 13,65%) e da 6b (CS 9,70% e CI 12,57%). Questi tre MFG rappresentano quasi i due terzi della produzione totale, con una buona consistenza in entrambi i laghi, poiché in entrambi 7b (piccole diatomee pennate) era il MFG dominante con un andamento decrescente nel campionamento autunnale. Le proporzioni di 1b (grandi dinoficee) e 6b (grandi diatomee pennate) si modificano alternativamente a favore dell'uno o dell'altro gruppo e non in modo particolarmente simile nei due laghi. Potremmo ipotizzare che un maggiore sviluppo dei MFG 6b, 7a e 7b, che rappresentano diatomee, sia caratterizzato da una turbolenza relativamente più elevata della colonna d'acqua durante gli anni caldi. Un altro importante MFG, 1b, costituito da dinoflagellati, mostra un aumento durante gli anni caldi nel Lago CS; altri MFG compresi i flagellati (2d, 3a e 3d) sono

più importanti nel Lago CS che nel Lago CI, questo potrebbe essere dovuto al fatto che i flagellati sono associati alla maggiore profondità del Lago CS, che favorisce una stratificazione termica più stabile. Un gruppo morfo-funzionale che caratterizza solo gli anni freddi è il 10a, che include le clorofite filamentose coloniali: questo MFG è presente in entrambi i laghi quando la temperatura è bassa, ma la stabilità termica della colonna d'acqua è elevata, come può accadere durante un periodo estivo piovoso o all'inizio dell'autunno. Lo stato trofico relativamente più alto del Lago CI può spiegare il successo dei MFG 10a, 8a e 11a, comprese le cloroficee, favorite dalla maggiore quantità di nutrienti e dalla loro resistenza al pascolo. D'altra parte, la minore disponibilità di nutrienti nel più profondo Lago CS, così come la loro segregazione negli strati d'acqua inferiori, sembra dare un vantaggio alle forme flagellate. Nella Tab. 7.2.2 sono riportati i MFG riscontrati nei due Laghi di Colbricon.

L'ecologia del fitoplancton dei Laghi di Colbricon è stata studiata in un recente lavoro pubblicato a cura di Trevisan *et al.*, 2014.

Lo studio ha messo in evidenza che il grado di variazione nella struttura delle comunità fitoplanctoniche dei due laghi sulle stesse date di campionamento, è molto basso (22,04%) rispetto al grado di somiglianza che si verifica all'interno dello stesso lago nei successivi campionamenti dello stesso anno (45,18 % nel Lago CS e 53,06% nel Lago CI). Un cambiamento brusco nella composizione della comunità è comunque imposto dal congelamento invernale che rappresenta una pausa di 5-6 mesi, quando il livello di somiglianza proporzionale nei successivi campionamenti (l'ultima comunità prima dell'inverno rispetto alla sua corrispondente dopo l'inverno) scende a 27,90% per Lago CS e 20,14% per Lago CI (Trevisan *et al.*, 2014).

Gli anni che hanno prodotto risultati più conservativi rispetto all'anno precedente e quelli nei quali si sono verificati i più alti cambiamenti di comunità, sono, per entrambi i laghi, il passaggio dal 2002 al 2003, che è stato il meno influenzato in quanto lascia comunità corrispondenti all'anno precedente a livelli del 40,05% (Lago CS) e del 34,78% (Lago CI). Al contrario, la transizione dal 2003 al 2004 ha causato le alterazioni più drammatiche di tutto il periodo riducendo le somiglianze rispettivamente all'8,60% e al 15,23% nei due laghi, tra le due annate.

Conducibilità e temperatura potrebbero essere correlati ad una maggiore disponibilità di soluti subito dopo la fusione del ghiaccio. Tali rapporti possono essere spiegati con un modello stagionale, anche se dobbiamo tener conto che, per un periodo di dieci anni, la variabilità climatica può determinare fluttuazioni annuali dei parametri idrologici, mascherando così i cambiamenti stagionali. La variabilità annuale può essere piuttosto grande: troviamo campioni raccolti nel 2001-2002 e nel 2003, che possono essere considerati "anni caldi", caratterizzati da una minore quantità di precipitazioni, un livello di acqua inferiore e una relativa stabilità della colonna d'acqua, nonché da temperature superiori, e valori di pH più elevati. Dall'altra parte "anni freddi" (2000, 2006 e 2007) sono caratterizzati da una maggiore quantità di precipitazioni e di conseguenza dal livello

dell'acqua, oltre che da un pH più basso e una maggiore conducibilità (Trevisan, et al., 2014).

Il regime idrologico sembra avere una grande influenza nel determinare le condizioni fisico-chimiche della colonna d'acqua che è fortemente controllata dalla quantità di pioggia, la principale causa della variabilità del livello dell'acqua nei due laghi. Il livello idrologico dei laghi ha un impatto diretto sulla relativa stabilità della colonna d'acqua.

Pertanto, possiamo ipotizzare una turbolenza relativamente più alta della colonna d'acqua durante gli anni caldi, caratterizzata da un maggior sviluppo di diatomee. Le dinoflagellate mostrano un aumento durante gli anni caldi nel Lago CS, probabilmente legato al miglior sviluppo dei flagellati in colonne d'acqua stratificate a causa della loro capacità migratoria (Reynolds, 2006; Clegg *et al.*, 2007).

Cloroficee filamentose coloniali caratterizzano solo gli anni freddi, questo gruppo è presente in entrambi i laghi quando la temperatura è bassa.

L'interazione pH/livello idrico sembra interessare in particolare il Lago CI: in questo lago la diminuzione del pH potrebbe dare un vantaggio alle Cloroficee filamentose coloniali come dimostrato da Lanfrancois *et al.*, (2003), che ha effettuato alcuni esperimenti su laghi d'alta quota.

Il fatto che l'effluente del Lago CS sia il tributario del Lago CI va comunque considerato come un importante legame tra i due laghi. Il Lago CS potrebbe quindi influenzare il Lago CI in modi fisici, chimici e biologici. In linea di principio il Lago CI potrebbe essere continuamente "seminato" dal fitoplancton presente nel Lago CS, tuttavia non è possibile quantificare la proporzione dell'acqua fornita dal Lago CS sul volume totale del Lago CI, poiché il deflusso è in parte trasmesso al lago inferiore dall'infiltrazione dell'acqua nel terreno, rendendo difficile misurare la quantità effettiva di scarico e possibili effetti filtranti di strati sotterranei.

A questo proposito, l'importanza relativamente elevata delle cloroficee e delle coniugatoficee nel Lago CI è in accordo con i risultati di un'indagine su larga scala della composizione fitoplanctonica in alta quota e latitudine in tutta Europa (Tolotti *et al.*, 2006), dimostrando che una maggiore abbondanza di alghe verdi è stata correlata a una maggiore disponibilità di nutrienti.

I laghi poco profondi, studiati da Scheffer & Van Nes (2007), facilmente subiscono bruschi cambiamenti tra momenti di trasparenza e di torbidità. All'interno di tali scenari sembra che i gruppi fitoplanctonici subiscano variazioni molto più evidenti quando si trovano in piccoli laghi poco profondi. Quando si analizzano singolarmente, le singole divisioni tassonomiche indicano che grandi gruppi, Dinophyceae e Diatomee, presentano variazioni molto simili in entrambi i laghi, mentre le differenze sono rappresentate principalmente da Cyanobacteria, Chlorophyceae e Chrysophyceae, che fluttuano molto più nel Lago CI.

Tutto considerato, i due laghi vicini, condividendo geologia, bacino idrografico e eventi climatici, sembrano sviluppare associazioni fitoplanctoniche indipendenti.

Per estrapolare, al di là del contesto locale, una validità globale di questo modello, abbiamo cercato in letteratura impostazioni equivalenti in cui erano stati confrontati i bacini adiacenti.

Infatti, altri laghi che condividono l'origine, l'età, il substrato e il distretto, anche quando si trovano molto vicini l'uno all'altro, presentano differenze nelle caratteristiche fisiche, chimiche e limnologiche. Per esempio i due laghi El Sol e La Luna (Alcocer *et al.*, 2004) situati nel Messico centrale, che si trovano uno accanto all'altro, mostrano associazioni fitoplanctoniche non correlate. Un caso altrettanto divergente per lo zooplancton è riportato in Giappone per i due bacini adiacenti Honjo e Nakaumi (Uye *et al.*, 2004). Allo stesso modo, i due laghi incontaminati Iso Hietajärvi e Pieni Hietajärvi in Finlandia, mostrano differenze nella distribuzione verticale della biomassa fitoplanctonica e della composizione delle specie (Holopainen *et al.*, 2003).

#### Conclusioni

I principali risultati derivanti da questa analisi possono essere sintetizzati come segue: il lago più piccolo e meno profondo, Lago CI, presenta una produttività fitoplanctonica quasi due volte più alta. Una spiegazione ragionevole per la causa di questa differenza potrebbe essere la concentrazione più elevata raggiunta tramite l'introduzione di nutrienti dal bacino idrografico comune a causa del volume d'acqua più piccolo in cui diluiscono di conseguenza. Una grande quantità di nutrienti in questo lago potrebbe sostenere una rete trofica più complessa, come testimonia la maggior abbondanza di zooplancton.

Questi due laghi d'alta quota, che presentano una serie di differenze relative alla dimensione in un quadro di parametri ambientali comuni, sono proposti come una cornice ideale per la prosecuzione di studi ecologici a lungo termine che coprono una serie di diverse associazioni biologiche e loro risposte sia ai cambiamenti climatici globali che ad altre fonti di impatto. I Laghi di Colbricon, appaiono costituire un insieme peculiare di ambienti modello accoppiati, offrendo la rara opportunità di studiare le variazioni imposte da determinati vincoli ambientali pur mantenendo costanti le altre variabili. La disponibilità di un set di dati decennale consecutivo è un ulteriore elemento di forza del confronto.

La Direttiva Quadro 2000/60/CE presenta elementi fortemente innovativi per quanto riguarda il giudizio di qualità dei corpi idrici, basato sullo stato ecologico delle acque, definito a partire da parametri biologici. In questo contesto, l'assegnazione degli organismi algali a certe classi di qualità assume un'importanza decisiva per la definizione dello stato ecologico. L'applicazione della Direttiva si scontra, tuttavia, con una realtà in cui si vogliono descrivere dei sistemi altamente imprevedibili, come quelli fitoplanctonici, avendo a disposizione conoscenze sulle preferenze trofiche delle specie algali ancora troppo scarse e troppo contrastanti per permettere lo sviluppo di indici di qualità ecologica affidabili basati sul fitoplancton (Salmaso *et al.*, 2003; Morabito, 2005).

# Comunità Zooplanctonica

G. Girardi, A.Tonon, R. Trevisan

La comunità zooplanctonica nei nostri laghi è composta prevalentemente da Rotiferi e da Crostacei, suddivisi in due grandi gruppi: Cladoceri e Copepodi.

Lo zooplancton ha una notevole importanza nella catena alimentare poiché è l'anello che collega i produttori primari (le alghe) ai consumatori secondari (pesci e altri predatori). Diverse specie sono molto sensibili agli inquinanti e la loro scomparsa è legata a cambiamenti fisici o chimici dell'ecosistema acquatico.

#### Materiali e metodi

I Laghi di Colbricon sono stati monitorati e campionati, durante il periodo libero dai ghiacci in una stazione di campionamento scelta in corrispondenza del punto di massima profondità del lago.

Il campionamento dello zooplancton è stato eseguito con le medesime procedure utilizzate per il campionamento del fitoplancton, utilizzando un retino a maglie più grandi (apertura con diametro di 170 cm, maglie 75  $\mu$ m). A bordo di un gommone, sono stati prelevati dei campioni lungo tutta la colonna d'acqua. Alcuni prelievi sono stati fatti tramite raccolte orizzontali, calando il retino dalla barca e trascinandolo per qualche minuto oppure lanciando e recuperando il retino dalla riva. I campioni sono stati fissati con alcool etilico e conservati in seguito in un luogo fresco e al riparo dalla luce.

#### Risultati

Nella tabella 7.3.1a per il Lago CS e tabella 7.3.1b per il Lago CI sono riportati tutti i taxa ritrovati nei campionamenti dei Laghi di Colbricon, dai primi studi degli anni 1929-1930 (Stella, 1931), dopo cinquant'anni nel 1981 (Giussani *et al.*, 1986), fino ad una serie continua di dati dal 1995 al 2002 (ISMA, 1996, 1997, 2000; Trevisan &Rosso, 2001) e infine un ultimo studio nel 2012-2013 (Tonon, 2015-2016).

La presenza di taxa diversi in alcuni anni può essere dovuta al numero di prelievi effettuati, in certi casi alle diverse modalità di campionamento, per la rarità di alcuni taxa nel popolamento zooplanctonico.

Nel primo campionamento dei laghi eseguito da Stella nel 1929-1930 (Stella, 1931), solo nel Lago CS, si sono trovati esemplari del Cladocero *Holopendium gibberum*, una specie planctonica che non è più presente nei successivi campionamenti. Questa specie frigo stenoterma predilige acque

Colbricon	ı Superiore	Stella 29-'30	Guissan 1981	Maiolini 1988	ISMA 1995	ISMA 1996	Trevisan 98-2000	IASMA 1995	IASMA 1998	IASMA 2000	Trevisan 2002	Tonon 2012-13
Rotiferi	Filina longiseta Floscularia sp. Kellicotia longispina Keratella quadrata Keratella cochlearis Polyarthra gr vulgaris Polyarthra gr remata minor Syncheata kitina Syncheata gr pectinata Asplanchna Lecane mira Trichocerca sp. Notholca squamula Branchionus angularis Proales Rotiferi Bdellidei	+	+ + +		+ + + + + + +	+ + +	+ + + + +		+ + + + +	+ + + + + +	+ + + + + + + +	+ + + + + +
Copepodi	Nauplii Cyclops strenuus Heterocope saliens		+	+			+	+	++	+ + + +	+	+ + + +
Cladoceri	Bosmina longirostris Daphnia longispina Cydorus sp. Ceriodaphnia sp. Holopendium gibberum Alona	++				+	+	+ + + + +	+		+	+

Colbricon Inferiore		Stella 29-'30	Trevisan 98-2000	IASMA 1998	IASMA 2000	Trevisan 2002	Tonon 2012-13
Rotiferi	Filina longiseta		+	+			
	Floscularia sp.		+			+	
	Kellicotia longispina		+			+	+
	Keratella quadrata		+	+		+	
	Keratella cochlearis		+				
	Polyarthra gr vulgaris			+			
	Polyarthra gr remata minor		+	+	+	+	+
	Syncheata kitina		+	+		+	+
	Syncheata gr pectinata						
	Asplanchna		+			+	
	Lecane mira		+	+	+		
	Trichocerca sp.						+
	Notholca squamula	+	+				
	Branchionus angularis			+			
	Proales					+	
	Rotiferi Bdellidei		+			+	+
Copepodi	Nauplii		+	+			
	Cyclops strenuus	+	+			+	+
	Heterocope saliens						
Cladoceri	Bosmina longirostris						+
	Daphnia longispina		+	+		+	
	Cydorus sp.						
	Ceriodaphnia sp.						
	Holopendium gibberum	+					
	Alona	+	+				

**Tab. 7.3.1**Tabella riassuntiva dei dati storici dello zooplancton dei Laghi di Colbricon: sopra Lago CS, a fianco Lago CI.

oligotrofiche e può essere numericamente ben presente quando si instaurano condizioni favorevoli. Un'altra specie rinvenuta nel Lago CS da Stella,
il Copepode *Heterocope saliens* considerato un relitto dell'epoca glaciale,
è stata ritrovata nello stesso lago nel 2000 e nel 2012. Questa specie predatrice, che si nutre di alghe e diaptomidi, si rinviene soltanto in laghi molto
profondi o in laghi di montagna, dove la temperatura delle acque non diviene mai troppo elevata.

Nei campionamenti successivi al 1995 sono stati rinvenuti meno taxa di Cladoceri, probabilmente perché i campionamenti hanno riguardato solo la zona di centro lago.

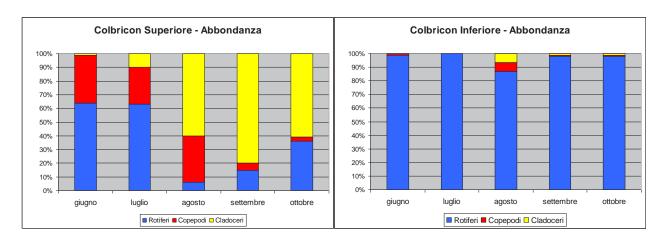
La presenza di *Alona affinis*, specie principalmente bentonica e che si rinviene tra le piante acquatiche, in alcuni campioni compiuti da Stella nel 1929-1930 (1931) e Giussani nel 1981 (1986), è stata ritrovata anche in quelli più recenti da Trevisan nel 1998-2000 (2001). I primi campionamenti sono stati eseguiti con pescate orizzontali che hanno toccato anche il fondo, mentre in quelli recenti i campionamenti da barca sono stati eseguiti probabilmente avvicinandosi troppo al fondo del lago.

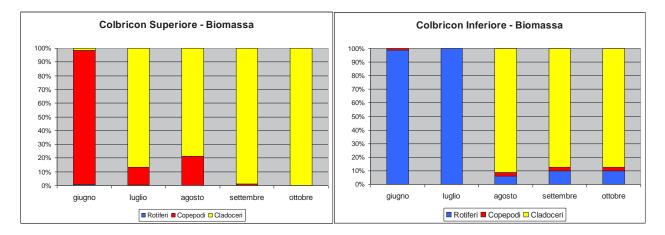
Nel Lago CI sono stati effettuati meno prelievi che nel Lago CS e possiamo osservare che non si notano grandi differenze nella composizione in taxa tra i due laghi, forse per la presenza di un breve emissario che collega i due bacini lacustri. Fanno eccezione alcuni taxa di Rotiferi che non sono stati ritrovati nel Lago CS: ciò è possibile considerando comunque la loro rarità nel popolamento zooplanctonico. Figg. 7.3.1-7.3.2.

Un'altra particolarità da segnalare è l'esplosione demografica nel Lago CS del Rotifero *Kellicotia longispina* che si è verificata nel 1995, nel 2002 e nel 2012. Questo è tipico del popolamento a Rotiferi; infatti, le fasi di sviluppo demografico sono improvvise e rapide, con popolamenti più densi che non si diffondono all'intero strato superficiale di un lago, ma si limitano a zone particolari.

Le comunità zooplanctoniche si modificano costantemente nel tempo e

Fig. 7.3.1 Andamento delle Abbondanze dello Zooplancton - Anno 1998.





nello spazio, poiché avviene una successione stagionale di popolamenti diversamente strutturati. Tendono inoltre a distribuirsi verticalmente nella massa d'acqua, a causa di fattori ambientali, quali temperatura, presenza di fitoplancton, turbolenza, luminosità e fattori di predazione (migrazioni nictemerali). Le acque delle zone litorali, direttamente a contatto con i sedimenti e con i nutrienti, hanno condizioni più favorevoli alla colonizzazione e sviluppo dello zooplancton. In Tab. 7.3.2 sono riportate le principali specie rinvenute nei Laghi di Colbricon.

I Rotiferi hanno una preferenza per le acque epilimniche calde, sebbene pulsazioni di qualche specie siano possibili anche in altri periodi dell'anno. I Copepodi si distinguono in specie a rigoglio prevalentemente invernale, come *Cyclops strenuus* che trascorre a profondità maggiori i periodi più caldi, in specie euriterme e in specie tipiche dell'estate, come *Heterocope saliens*. I Cladoceri (salvo, in qualche circostanza, *Bosmina*) sono tipici della stagione calda.

Analizzando i dati numerici del conteggio del 1998, si osserva una certa stagionalità delle concentrazioni di Rotiferi, Copepodi e Cladoceri, in linea con il loro ciclo vitale. Nel Lago CS si hanno maggiori densità in luglio, soprattutto di Rotiferi. Nel Lago CI si hanno bassissime densità di Copepodi e Cladoceri, mentre i Rotiferi sono dominanti nel popolamento con picchi numerici in giugno-luglio, rispettivamente cinque e tre volte maggiori di quelle del Lago CS.

Nel Lago CS i Rotiferi hanno una riduzione da giugno ad agosto per poi incrementarsi; i Cladoceri aumentano notevolmente da agosto, mentre i Copepodi si riducono significativamente in settembre e ottobre. Nel Lago CI si mantiene una grande proliferazione di Rotiferi con solo un leggero calo nel mese di agosto, quando aumentano leggermente Cladoceri e Copepodi.

Fig. 7.3.2 Andamento delle Biomasse dello Zooplancton - Anno 1998.

# Tab. 7.3.2 Descrizione delle specie rinvenute nei Laghi di Colbricon

# **CLASSE ROTIFERI**



#### Brachionus angularis Gosse, 1851

Lorica dorsale talvolta suddivisa in piastre o faccette, spine mediane corte a forma di pinze.

Lunghezza totale: 90-120 µm; larghezza 60-160 µm.

Cosmopolita, nel plancton di piccoli e grandi laghi dell'Italia settentrionale e centrale; anche sulle rive tra la vegetazione di laghi, fiumi e paludi; beta-mesosaprobica, in acque eutrofiche ricche di sostanza organica, ma anche in laghi oligotrofici; perenne, abbondante in primavera; si nutre di detrito e alghe unicellulari (Braioni & Gelmini, 1983).



#### Filinia longiseta (Ehrenberg, 1834)

Tutte le setole con aculei; setole laterali lunghe 3-4 volte il corpo. Lunghezza corpo 130- $250 \ um$ .

Termofila; nell'epilimnio fino al metalimnio di laghi anche eutrofici; si nutre di nanoplancton e batteri (Braioni & Gelmini, 1983).



#### Kellicottia longispina (Kellicott, 1879)

Negli esemplari contratti la lorica è a forma di imbuto o conica; 6 spine sul margine anteriore, le 2 laterali, in alcuni esemplari, differiscono in lunghezza di 40  $\mu$ m o più. Lunghezza totale 400-800  $\mu$ m, lunghezza spina ant. 140-330  $\mu$ m, lunghezza spine lat. 84-175/70-154  $\mu$ m.

In Europa e in Asia. In Italia nel plancton di molti laghi alpini dell'Italia settentrionale e centrale, occasionalmente sulle rive dei laghi oligotrofici, più rara negli stagni, in laghi poco profondi eutrofici e nei fiumi; perenne anche in estate nell'ipolimnio; onnivora, si nutre di piccoli fitoflagellati (Braioni & Gelmini, 1983).



# Keratella quadrata (O.F. Muller, 1786)

È la specie più diffusa del gruppo. Presenta in genere forma trapezoidale, allargata nel terzo inferiore. Specie polimorfa, presenta variazioni sia per quanto riguarda la lunghezza delle spine, sempre inserite lateralmente sugli angoli del tronco, da molto corte, a lunghe quanto il tronco, sia per la lunghezza totale.

Lunghezza totale 120-300  $\mu\rm m$ ; larghezza 75-100  $\mu\rm m$ ; lunghezza spine ant. 30-50  $\mu\rm m$ ; lunghezza spine post. 20-140  $\mu\rm m$ .

Queste variazioni sono correlate a fattori ambientali non ancora ben definiti.

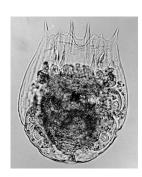
Presente in Italia in tutti i biotopi di piccoli e grandi insediamenti lentici e lotici (Braioni & Gelmini, 1983).



#### Lecane mira (Murray, 1913)

Lorica ampiamente ovale; angoli frontali acuti, quasi trasformati in spine. Piastre dorsale e ventrale talvolta con ornamentazioni a campi disposte a quinconce. Piastra dorsale più larga della ventrale nel mezzo.

Lunghezza P.D.: 84-108 μm; lunghezza P.V.: 91-145 μm; lunghezza dita: 56 μm. Forma bentico-periferica di piccoli specchi lacustri, presente nel Trentino tra la vegetazione sommersa, sporadica nel plancton (Braioni & Gelmini, 1983).



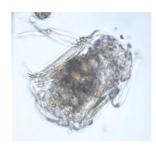
# Notholca squamula (O.F. Muller, 1786)

Sinonimo di Notholca squamula squamula sensu Koste.

Margine anteriore della piastra dorsale con 6 spine. L'estroflessione della membrana cloacale, più o meno pronunciata, può causare l'allungamento del margine posteriore solitamente arrotondato. Rapporto lunghezza/larghezza lorica inferiore a 2.

Lunghezza: 120-190  $\mu$ m; larghezza: 96-144  $\mu$ m; spine anteromeridiane 18-34  $\mu$ m, submeridiane 8-12  $\mu$ m, antrerolaterali 16-18  $\mu$ m.

Definita forma di riva di laghi e stagni, stenoterma fredda, presente nell'Italia settentrionale orientale, in Toscana ed Abruzzo, per lo più in laghi alpini ed apenninici, tra la vegetazione sommersa, nel limo e nel detrito, anche nel plancton, nello psammon; oligobetamesosaprobica, si nutre di diatomee (Braioni & Gelmini, 1983).



#### Polyarthra remata (Skorikov, 1896)

Presenta pinne un po' più lunghe del corpo, strette, con venatura centrale, seghettate a forma di spada; margine posteriore un po' arrotondato, spesso trilobato; antenne laterali negli angoli posteriori del corpo. Vitellario con 4 nuclei.

Lunghezza corpo 80-120  $\mu$ m secondo Koste; lunghezza pinne 80-110  $\mu$ m; uova durature 48-60x32-44  $\mu$ m.

Cosmopolita, in acque alcaline e neutre, nel plancton e nelle regioni litorali di laghi e stagni; stenoterma calda (Braioni & Gelmini, 1983).



## Synchaeta kitina Rousselet, 1902

È molto simile a Synchaeta tremula, ma più piccola (lunghezza totale  $100~\mu$ m), ritenuta forma estiva di *Synchaeta tremula* o sua forma litorale (Braioni & Gelmini, 1983). Presente in Italia in tutti i biotopi di piccoli e grandi insediamenti lentici e lotici (Braioni & Gelmini, 1983).

# **CLASSE COPEPODI**



#### Cyclops strenuus Fischer, 1851

Locusta comune. Prima antenna con 17 articolazioni, raramente 16 o 18. Incolore, giallino o quasi verde. Margini interni dei rami forcuti pelosi. Corte setole finali.

Dimensioni: fino a 3,5 mm nelle femmine.

In grandi specchi d'acqua la forma d'acqua libera, in acque poco estese la forma litoranea (Streble H. & Krauter D.,1984).





# Heterocope saliens (Lilljeborg, 1862)

Femmina. Colore rossiccio con bande turchine. Lunghezza 2,70-2,90 mm. Antennule lunghe fino la metà dell'addome. Maschio di colore più pallido. Lunghezza 2-2,10 mm. Specie ad ampia distribuzione in Europa, dalla Francia alla Russia; abita acque sia di pianura che di montagna fino ai 2000 metri. In Italia è diffusa nei laghetti delle Alpi orientali e occidentali e nel Lago Maggiore, dove è planctonica; un tempo era anche presente nei laghi di Como e di Lugano, ma è scomparsa dai loro bacini per eutrofizzazione.Forma frigostenoterma, predilige nei laghi le acque ipolimniche fredde; compie escursioni verticali giornaliere molto imponenti; si nutre di alghe e Diaptomidi. Le uova, avvolte da una sostanza gelatinosa, vengono deposte isolatamente (Stella, 1982).





Bosmina longirostris (O.F. Muller, 1776)

Forma planctonica di piccole dimensioni (0,27-0,45 mm), ha il carapace ialino con reticolatura poligonale al livello del rostro.

Questa specie presenta una notevole variabilità individuale oltre che stagionale, in rapporto alla formazione della camera incubatrice, ma anche variazioni ciclomorfiche di sviluppo con variazioni nella lunghezza del mucrone e nella lunghezza e forma delle antennule.

E' specie cosmopolita, ampiamente diffusa in laghi di ogni dimensione, anche di alta quota, e negli stagni. In Italia è stata rinvenuta nella penisola, nelle isole sia nei laghi, che negli stagni e risaie. Predilige gli stagni e laghi eutrofi: vive in genere nell'epilimnio. È specie euriterma: sopporta temperature comprese tra 0,5° e 25°C.

Descritta come mono o diciclica, nei laghi italiani è per lo più specie aciclica. I maschi sono stati segnalati solo raramente (Margatoria F., 1983).



#### Daphnia longispina (O.F. Muller, 1776)

Specie a variabilità piuttosto marcata a livello di popolazione.

Le numerose forme locali, caratteristiche di ogni lago possono essere raggruppate in tre sottospecie (D. l. longispina, D. l. littoralis e D. l. rectifrons).

Specie paleartica, ampiamente diffusa soprattutto nelle zone temperate, è presente in Italia in molti laghetti d'alta quota delle Alpi e nei laghi sai naturali che artificiali dell'Appennino. Reperti in acque temporanee sono segnalati in Emilia, Sardegna, Sicilia. E' ubiquista, sia euplanctonica che litorale (Margatoria F., 1983).

#### Conclusioni

Lo zooplancton presente nei due laghi è tipico dei piccoli laghi alpini e, considerando i dati più recenti, con una biodiversità abbastanza costante. La durezza dei fattori ambientali (lunga persistenza della copertura ghiacciata, oligotrofia, basse temperature) a cui sono sottoposti questi bacini di alta quota, fa si che le comunità che si instaurano siano generalmente poco complesse e con un basso numero di specie rispetto ai bacini di quote inferiori.

In generale possono essere sottoposti a impatti antropici diretti (sfruttamento per uso idroelettrico o idropotabile, immissione di specie ittiche alloctone, pressione turistica, pascolo) e indiretti (rischio di acidificazione, riscaldamento globale, aumento della radiazione UV incidente). In alcuni studi é stata vista la correlazione positiva tra il popolamento di Copepodi e fattori quali le dimensioni del bacino, trofia, temperatura, pH e conducibilità.

Lo zooplancton costituisce la base alimentare prediletta dagli stadi giovanili dei pesci, inoltre è fonte di nutrimento degli stadi adulti di talune specie ittiche denominate planctofaghe. La presenza di pesci con queste caratteristiche, come la sanguinerola e il salmerino, può pertanto limitare l'abbondanza e tende normalmente ad abbattere la densità delle specie di Calanoidi e Cladoceri, fino a determinarne la scomparsa, contribuendo così a ridurre la diversità dello zooplancton.

Gli organismi zooplanctonti si nutrono tramite filtrazione o raccolta raptatoria di alghe planctoniche, batteri e particelle detritiche attraverso un'attività di pascolo selettivo con preferenze alimentari che differiscono in dimensioni e tipologia. Gli andamenti demografici dello zooplancton possono quindi avere effetti sensibili sulle popolazioni di fitoplancton influenzandone notevolmente la loro composizione e biomassa.

# Comunità di Macroinvertebrati

# G. Girardi

I macroinvertebrati sono un gruppo convenzionale non tassonomico, nel quale sono riuniti tutti gli invertebrati acquatici, che risiedono abitualmente e permanentemente all'interno di un ecosistema acquatico. La maggior parte degli organismi ha dimensioni superiori al millimetro,

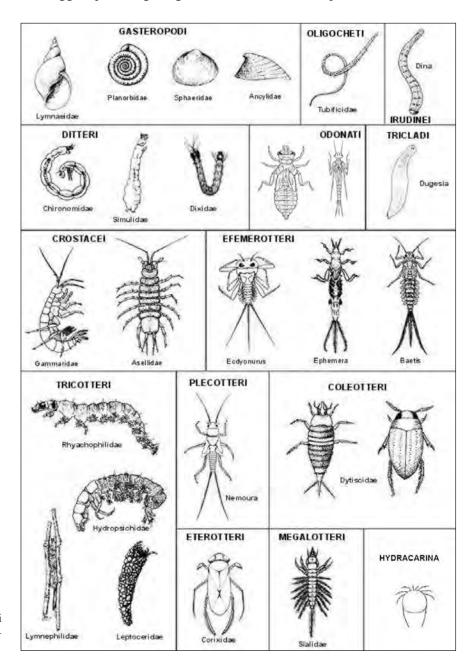


Fig. 7.4.1 Alcuni taxa appartenenti ai diversi gruppi faunistici di macroinvertebrati.

sono visibili perciò a occhio nudo. Ne fanno parte larve e adulti che colonizzano tutti i substrati presenti nei corpi idrici, dai corsi d'acqua corrente ai laghi, agli ambienti di acque stagnanti (paludi, stagni, pozze, ...) (Fig. 7.4.1). Gli Insetti (Plecotteri, Efemerotteri, Tricotteri, Eterotteri, Ditteri, Coleotteri, Odonati, Megalotteri, Planipenni) sono il gruppo faunistico più rappresentato, ma ci sono anche Crostacei, Molluschi (Gasteropodi e Bivalvi), Anellidi (Irudinei e Oligocheti), Tricladi, Nematomorfi, Briozoi e Poriferi.

Questi invertebrati possono trascorrere nell'ambiente acquatico l'intero ciclo vitale (es. Gasteropodi, Irudinei, ...) o solo la fase larvale (la maggior parte degli Insetti). Lo stadio larvale e quello adulto hanno una durata che può variare notevolmente in base alla specie (da mesi fino ad alcuni anni) e possono avere cicli riproduttivi aventi una generazione l'anno (univoltini), più generazioni l'anno (polivoltini) o cicli pluriennali (poliannuali).

Gli Insetti hanno una fase giovanile (larva, pupa, ninfa) acquatica, mentre quella adulta, generalmente di breve du-

rata, è terrestre, salvo alcune eccezioni (per esempio nei Coleotteri). I macroinvertebrati coprono più ruoli all'interno della rete trofica, si va dagli erbivori ai carnivori, ai decompositori di materia organica e possono essere fonte di nutrimento per i vertebrati, come pesci, anfibi, rettili e uccelli.



Fig. 7.4.2 Strumenti per la raccolta dei macroinvertebrati acquatici.

#### Materiali e metodi

I macroinvertebrati sono stati raccolti utilizzando, negli habitat di riva e a basse profondità, strumenti, retini immanicati con imboccatura rettangolare o semicircolare con una rete filtrante (es. 20 maglie per cm),

talvolta muniti di un raccoglitore in plexiglass. In ambienti profondi e a sedimenti fini, si campiona tramite benne o draghe (es. Ponar) e carotatori (Fig. 7.4.2).

Il materiale raccolto è posto in una vaschetta di plastica a fondo bianco e osservato direttamente in campo (Fig. 7.4.3), anche aiutandosi con lenti d'ingrandimento, raccogliendo più esemplari per ciascun taxa individuato.



**Fig. 7.4.3** Fase di smistamento e raccolta di macroinvertebrati in campo.

Gruppo Tassonomico		CS	CI	
	Campionamenti anni	1999, 2001 e 2016		
PLECOTTERI	Nemouridae	Nemoura cinerea	+	+
		Limnephilinae	+	+
	Limnephilidae	Limnephilus rombicus	+	
TRICOTTERI		Stenophyla permistus	+	
	Phryganeidae	Oligotricha striata	+	
COLEOTTERI	Dytiscidae	Dytiscinae (larva)	+	+
MEGALOPTERA	Sialidae	gen. sp.	+	+
	Aeshnidae Aeshna juncea		+	+
ODONATI	Cordulidae	Somatochlora metallica	+	+
	Cordundae	Forcypominae	'	+
	Ceratopogonidae	Heleinae	+	
		Chironominae	+	
DITTERI		Ortocladinae	+	+
	Chironomidae		_	_
		Tanypodinae	+	+
CDOCTACEI	C	Tanytarsinae	+	+
CROSTACEI	Gammaridae	Gammarus lacustris		+
HYDRACHNIDIA	Hydracarina	gen. sp.	+	+
	Acroloxidae	gen. sp.	+	
GASTEROPODI	Lymnaeidae	Lymnaea truncatula	-	+
	Planorbidae	gen. sp.	+	
BIVALVI	Pisidiidae	Pisidium sp.	+	
	Erpobdellidae	Erpobdella testacea	+	+
IRUDINEI	Glossiphoniidae	Helobdella stagnalis	+	
	Haemopidae	Haemopis sanguisuga	+	+
	Enchytraeidae	gen. sp.	+	
OLIGOCHETI	Lumbricidae	gen. sp.	+	
OLIGOCHETI	Naididae	gen. sp.	+	+
	Tubificidae	gen. sp.		+
NEMATODA	Mermithidae	gen. sp.	+	+
PORIFERI	Spongillidae	gen. sp.		+
Campionamenti d		81, 1987 e 1988 (da Ferrarese,	1990)	
<u> </u>	Conchapelopia	melanops	+	+
	Zaurelimya	melanura	+	
Tanypodinae	Zaurelimya	nubila	+	
	Ablabesmia	monilis	+	
	Tuetenia	calvescens-bayarica		+
	Psectrocladius	fennicus	+	
Ortocladinae	Cricotopus	sylvestris	+	
	Metriocnemus		+	+
	Tanytarsus	sp.	+	
	Paratanytarsus	austriacus		
Tanytarsinae	-		+	
	Paratanytarsus	sp.	+	<u> </u>
	Micropsectra Micropsectra	contracta	+	+
	Microtendipes	sp.	+	+
O1. :	Polypedulum	gr. nubeculosum	+	
Chironominae	Dicrotendipes	modestus	+	
	Einfeldia	dissidens	+	+
	Einfeldia	pagana		+
Campionamenti		1982 (da Mascagni e Terzani, 1	1983)	
	Aeshnidae	Aeshna juncea	+	+
ODONATI	Cordulidae	Somatochlora alpestris		+
		Somatochlora metallica		

**Tab. 7.4.1**Dati storici sui taxa raccolti nei Laghi di Colbricon (CS: Colbricon Superiore; CI: Colbricon Inferiore).

I campioni con sedimenti fini sono stati lavati con l'aiuto di retini o setacci e sono stati smistati in laboratorio con l'ausilio di uno stereoscopio per la ricerca di piccoli macroinvertebrati, come Oligocheti e Chironomidi, che caratterizzano la fauna dei sedimenti fini profondi.

Gli organismi raccolti sono stati conservati in contenitori di plastica, fissati in alcool etilico a una concentrazione finale del 70%. In laboratorio sono stati determinati gli organismi mediante stereoscopio e a maggior ingrandimento con microscopio ottico utilizzando testi di riconoscimento tassonomico.

#### Risultati

Nella tabella 7.4.1 sono stati inseriti tutti i taxa che sono stati raccolti negli anni 1999, 2001 e 2016 da ricercatori del Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova. Altri dati disponibili riguardano studi specifici sulla conoscenza dei Chironomidi del Trentino negli anni ottanta (Ferrarese, 1990) e degli Odonati del Trentino-Alto Adige negli anni dal 1975 al 1982 (Mascagni & Terzani, 1983).

#### Conclusioni

La fauna a macroinvertebrati tende a semplificarsi aumentando la quota e, sopra i 2000 m s.l.m., comprende tutte quelle forme adattate a vivere in condizioni di vita estrema, quali temperatura, esposizione, vento, durata del manto nevoso, natura delle sostanze disciolte in acqua, accidentali variazioni meteo climatiche. Questi fattori hanno una forte influenza sui loro cicli, con particolarità e forti anticipi e/o ritardi nello sviluppo rispetto a quanto si osserva in altri ambienti e determinano una diversità biologica inferiore rispetto a quella riscontrabile nei laghi posti a quote più basse. I taxa ritrovati nei Laghi di Colbricon sono caratteristici di comunità macrobentoniche che possono colonizzare un lago alpino di alta quota. Queste sono prevalentemente costituite da Insetti; infatti, nei laghi alpini essi costituiscono solitamente più dell'80% del popolamento macrobentonico (Fig. 7.4.4). In questi ambienti sono soprattutto i Ditteri che più di ogni altro insetto hanno delle forme adattate per sopravvivere a condizioni estreme. Le famiglie di questo gruppo che si rinvengono maggiormente, sia con numero di individui che come numero di specie, sono i Chironomidi (per lo più Orthocladiinae e Chironominae). Si possono trovare frequentemente anche Limonidi, Culicidi, Ceratopogonidi, Empididi e Anthomyidae. Altre forme viventi comuni in questi habitat lacustri sono gli Oligocheti, Turbellari e Idracarini e negli ambienti calcarei si possono rinvenire Molluschi, soprattutto bivalvi, ma anche Gasteropodi.

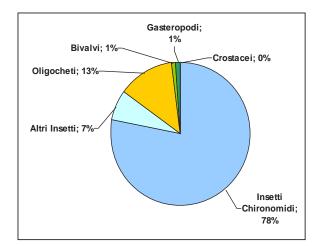


Fig. 7.4.4 Composizione tassonomica della comunità a macroinvertebrati dei laghi alpini d'alta quota. (Da Lencioni *et al.*, 2013).

Le acque dei laghi alpini hanno una temperatura fredda e un elevato tenore di ossigeno che permette di ospitare macroinvertebrati piuttosto sensibili (Plecotteri, Efemerotteri e Tricotteri) che di norma colonizzano, a quote inferiori, solo i corsi d'acqua. La presenza di una comunità di macroinvertebrati ben strutturata ed equilibrata indica inoltre il buono stato di conservazione di un ambiente e la sua capacità di sostenere una buona biodiversità biologica. Nella Tabella 7.4.2 sono riportate le principali specie dei macroinvetebrati riscontrati nei Laghi di Colbricon.

L'esistenza di habitat di sponda e la loro conservazione sono molto importanti perché incrementano le nicchie ecologiche disponibili per invertebrati e vertebrati, aumentando conseguentemente la biodiversità presente nel bacino lacustre. Comuni di questi ambienti sono gli Odonati, chiamate libellule, che sono dei grandi predatori sia allo stato larvale sia adulto, e che sono molto appariscenti durante i loro voli sull'acqua e tra la vegetazione.

# Tab. 7.4.2 Descrizione delle specie di macroinvertebrati rinvenute nei Laghi di Colbricon



#### PLECOTTERI - Nemoura cinerea (Retzius)

Larva 5-9 mm. Diffusa in tutta Italia eccetto le isole.

Si trova in ambienti svariati, ma predilige le paludi e le acque molto lentamente correnti, dove è abbondantissima; m 500-2100.

Adulto da maggio ad agosto (Consiglio, 1980).



#### TRICOTTERI – Limnephilus rombicus (L.)

Larva di 18-20 mm. Tutta Italia.

Stagni, laghi, paludi, fiumi lenti e canali, grandi sorgenti limnocreniche invasive da idrofite, anche in pianura (m 40-1500 m). Adulti da marzo a novembre (Moretti, 1983).



#### TRICOTTERI – Stenophyla permistus (McLachlan)

Larva di 18 mm. Tutta Italia.

Corsi d'acqua lenti con depositi di vegetazione maceranti sul fondo (m 150-2000). Adulti da marzo a ottobre (Moretti, 1983).



#### TRICOTTERI – Oligotricha striata (L.)

Larva di 20-22 mm. Italia: Trentino, Friuli, Toscana.

Acque stagnanti o debolmente correnti (Moretti, 1983).



#### ODONATI - Somatochlora metallica (Vander Linden)

Larva di 23-26 mm. Nord Italia.

Acque stagnanti o debolmente correnti, che possono essere parzialmente o quasi completamente ombreggiate. Nelle località di bassa e media altitudine si trovano spesso nelle aree boschive o semiforestate. Gli habitat adatti includono principalmente acque stagnanti come laghi, laghetti, grandi stagni e torbiere di *Sphagnum*. Più raramente la specie si trova nei ruscelli e fiumi con debole a moderata corrente, così come nei canali artificiali (Boudot & Kalkman, 2015).



#### ODONATI – Aeshna juncea (L.)

Larva di 40-51 mm. Nord Italia.

È limitata prevalentemente ad acqua stagnanti e non ombreggiate negli habitat mesooligotrofici, si ritrova associata a paludi e altre acque stagnanti con una ben sviluppata vegetazione di *Sphagnum*, cariceti o giuncheti (Boudot & Kalkman, 2015).

(\*) Foto su carta millimetrata, contenente dei quadretti delle dimensioni di un millimetro per uno.



#### CROSTACEI – Gammarus lacustris (Sars)

Maschio, 14-16 mm.

In Italia vive in laghi di alta quota. (Karaman, 1993).

Un elemento di rilevante interesse biogeografico è relitto glaciale che si rinviene in pochi laghi delle Alpi e degli Appennini; la specie, elemento boreoalpino-appenninico, è da considerarsi vulnerabile e in via di rapida scomparsa dai laghi d'alta quota italiani in seguito alle massicce introduzioni di specie ittiche. (Lencioni, Maiolini, 2006).



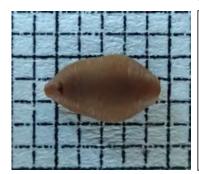
#### GASTEROPODI - Galba truncatula (Muller)

Lunghezza 6-100 mm; larghezza 4-6 mm.

La specie è presente in tutta Italia, Corsica, Sardegna, Sicilia, Malta.

Vive in ruscelli a debole corrente, fossati poco profondi, stagni, acque ricche di materia organica e di diatomee. Si può trovare anche in acque oligoaline con salinità fino a 0.5 per mille. Durante i periodi di siccità può rifugiarsi nel fango. Si trova spesso fuori dall'acqua, sulle sponde e attaccata alle piante acquatiche, specialmente se l'acqua è povera di ossigeno (Girod et al., 1980).

E' stata trovata in laghetti delle Dolomiti fino a 2800 m s.l.m. (Lencioni, Maiolini, 2006).



#### IRUDINEI – Helobdella stagnalis (L.)

Lunghezza 5-10 mm, larghezza 3-5 mm.

In Italia diffusa e frequente in quasi tutte le regioni; mancano dati sicuri in quelle più meridionali della penisola e sulla Sicilia.

Si rinviene in ogni tipo di acque, sia stagnanti sia correnti; anche in acque salmastre. In molte regioni è la sanguisuga più comune ed è quasi sempre la specie dominante in acque inquinate. Sulle Alpi si rinviene fino a 2500 m di quota.

Succhia di preferenza oligocheti (tubificidi e altri), larve di chironomidi, *Asellus*, daphnie; occasionalmente anche molluschi e anfibi (Minelli, 1977).



#### IRUDINEI – Haemopis sanguisuga (L.)

Lunghezza 50-100 mm, eccezionalmente fino a 200 mm; larghezza 7-15.

Presente in tutte le regioni italiane.

Si rinviene frequente in stagni, fossati, corsi d'acqua a lento deflusso; non di rado si porta nella terra umida. Non ha grandi esigenze in fatto di ossigeno, per cui si ritrova anche in acque di scarico. Manca nelle torbiere alte; nelle acque profonde si trattiene presso le rive. Passa la stagione fredda a gruppi sotto pietre a riva.

Si nutre di qualsiasi animale riesca a ingoiare; preferisce uova di pesci e anfibi, gasteropodi, anellidi, larve di insetti, ma accetta anche planarie e celenterati. (Minelli, 1977).



#### IRUDINEI – Erpobdella testacea (Sav.)

Lunghezza 20-50 mm; larghezza 2-5 mm, a volte fino a 8 mm.

Diffusa in quasi tutta Italia, è nota per l'Italia delle regioni settentrionali e centrali e dalla Campania.

Frequenta acque correnti e stagnanti, ma si rinviene talora sul terreno umido. Tollera acque dure e inquinate.

Si nutre di oligocheti, di larve di insetti e di crostacei entomostraci; forse ingoia anche detrito (Minelli,1977).

# Cenni sulla fauna vertebrata

# P. Partel, G. Volcan

I Laghi di Colbricon e le aree limitrofe rappresentano un habitat interessante per varie specie di vertebrati; la quota elevata tuttavia riduce drasticamente il numero di quelle che possono sopravvivere in questi ambienti durante l'intero arco dell'anno; i laghi gelano completamente in inverno per cinque o sei mesi (Fig. 6.1 pag. 57).

#### Pesci

Tra le specie intrinsecamente legate all'acqua troviamo due pesci: il salmerino alpino (*Salvelinus alpinus*) e la sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*) (Fig. 7.5.1). Mentre per la sanguinerola l'autoctonia è certa, per il salmerino alpino la questione è ancora fonte di discussione. Queste due specie rappresentano l'associazione ittica tipica dei laghi trentini d'alta quota. La prima è presente con una popolazione importante che si sviluppa in entrambi i Laghi. Proprio in ragione della sua abbondanza circa 180 esemplari sono stati catturati in tale contesto e utilizzati per reintrodurre la specie nel Laghetto Welsperg (Val Canali-Tonadico) successivamente ai lavori di riqualificazione attuati nel biennio 2009-2010 da parte dell'Ente Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino (Partel, 2012).

Tra le informazioni relative alla presenza di specie ittiche nei Laghi di Colbricon troviamo quella del 1990, quando l'allora Servizio Caccia e Pesca della Provincia autonoma di Trento ha realizzato una pescata con rete



Fig. 7.5.1 Sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*) (foto M. Salvadori).

per indagare la fauna ittica presente nel Lago CS. L'operazione ha consentito la cattura di 8 salmerini alpini che sono risultati l'unica specie pescata (le maglie della rete utilizzata non consentivano la cattura di sanguinerole). Le dimensioni degli stessi erano comprese tra 20-30 cm di lunghezza e 190-200 gr di peso (Calovi & Mattedi, 1995).

Successivamente, nel corso del campionamento (pescata con reti) realizzato il 23 e 24 ottobre 2002 nel Lago CS, sono stati catturati solo due esemplari di salmerino alpino aventi lunghezze di 31,7 e 33 cm, evidenziando la presenza di una popolazione ridotta, ma non estinta, di questa specie. Anche nel Lago CI nelle stesse date è stato realizzato un analogo campionamento che però non ha portato alla cattura di pesci. A spiegazione di tale scarno risultato il Piano di gestione della pesca 2007-2011 per il Lago CS individuava quale causa probabile l'inquinamento organico provocato dalla frequentazione turistica e in particolare dalla presenza del Rifugio in riva al Lago. Lo stesso documento riteneva inoltre che l'allontanamento degli scarichi potesse favorire il ripristino della popolazione di salmerino. Per il Lago CI invece, l'assenza del salmerino alpino veniva spiegata in parte con le stesse motivazioni esplicitate per il Lago CS, ma anche per l'immissione di trote che successivamente sarebbero a loro volta scomparse (Provincia autonoma di Trento, 2007).

Il Piano di gestione della pesca Valli dell'Avisio e del Fersina del 2012 precisa inoltre che l'assenza di catture di salmerino alpino ottenute nel 2002 per il Lago CI può essere riferita alla sua assenza, tuttavia non si può escludere una presenza limitata (Provincia autonoma di Trento, 2012).

La presenza del salmerino alpino nel Lago CS è stata accertata da ultimo il 28 maggio 2018, quando sulle rive dello stesso è stato rinvenuto un esemplare morto; un adulto di 20-25 cm di lunghezza.

Per quanto concerne le trote, non è nota con certezza quale o quali specie siano state immesse (Zanon, 2016) anche se appare molto probabile l'immissione della sola trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*). Anche nei campionamenti realizzati nel 1981 nel laghetto CS viene riportata genericamente la presenza di trota e salmerino (Giussani *et al.* 1986), senza definirne la specie. Appare tuttavia interessante evidenziare che la trota iridea è stata importata in Trentino dall'Alsazia nel 1885 e immessa, assieme al salmerino di fonte (*Salvelinus fontinalis*), già alla fine del XIX secolo, in numerose acque del Trentino, fra le quali il torrente Travignolo (Mustoni, 2003). Altre fonti bibliografiche evidenziano la presenza della trota iridea nei Laghi di Colbricon a seguito di ripetute immissioni effettuate sin dalla fine del 1800, senza che questa attecchisse (Pontalti, 2014). Come già detto anche nel campionamento del 2002 tale specie non è stata catturata (Provincia autonoma di Trento, 2007).

# Anfibi

Tra gli anfibi sono presenti la rana di montagna (*Rana temporaria*) (Fig. 7.5.2), il rospo comune (*Bufo bufo*) e il tritone alpestre (*Ichthyosaura alpestris*) (Fig. 7.5.3). I Laghi di Colbricon costituiscono per queste specie importanti siti riproduttivi in cui ogni primavera, al disgelo, centinaia di esemplari convergono per deporre le uova. Il rospo è meno abbondante, anche tenuto conto che i Laghi si trovano al limite altitudinale superiore dell'areale della specie nel Parco, mentre numericamente importanti sono le popolazioni di rana di montagna e di tritone alpestre.



Fig. 7.5.2 Rana di montagna (*Rana temporaria*) (foto M. Salvadori).



Fig. 7.5.3 Tritone alpestre (*Ichthyosaura alpestris*) (foto M. Salvadori).

#### Rettili

Per quanto concerne i rettili è certa la presenza del marasso (*Vipera berus*) e della lucertola vivipara (*Zootoca vivipara*), mentre esistono alcune segnalazioni non verificate di biscia d'acqua (*Natrix natrix*).

#### Uccelli

I Laghetti di Colbricon costituiscono un interessante sito di nidificazione e di sosta per diverse specie di uccelli. Relativamente ai nidificanti troviamo il germano reale (*Anas platyrhynchos*) e il tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*), quest'ultimo sicuramente presente nel lago CS a partire dal 2012. Per il tuffetto tale sito, 1920 m s.l.m., risulta essere uno dei più alti d'Europa (Partel, 2015). Altre specie nidificanti nell'area sono la ballerina bianca (*Motacilla alba*) e la ballerina gialla (*Motacilla cinerea*), che utilizzano frequentemente la zona ripariale, mentre nella mugheta troviamo la bigiarella (*Sylvia curruca*) e la passera scopaiola (*Prunella modularis*).

Per quanto concerne le specie migratrici va tenuto presente che la morfologia della zona è caratterizzata dalla presenza di uno stretto valico, Passo Colbricon, posto a occidente dei laghi, che costituisce un importante sito di transito per gli uccelli migratori che risalgono la valle del Cismon diretti in Val di Fiemme. Ogni autunno, da agosto a fine ottobre, decine di migliaia di uccelli transitano lungo il passo, sostando talvolta nei pressi dei Laghi per alimentarsi e riposare.

Specifici monitoraggi condotti dall'Ente Parco a partire dal 2017 hanno evidenziato un consistente transito di fringuelli (*Fringilla coelebs*), peppole (*Fringilla montifringilla*), lucherini (*Spinus spinus*) e di diverse altre specie, tra cui balia nera (*Ficedula hypoleuca*) e luì grosso (*Phylloscopus trochilus*), con medie orarie di oltre 200 uccelli ed un transito complessivo valutabile nell'ordine di 60-100000 uccelli ogni autunno.

Tra le specie osservate in sosta sui laghi vi sono diversi uccelli acquatici, piuttosto rari nel parco, tra cui fischione (*Anas penelope*), moretta (*Aythya fuligula*), tarabusino (*Ixobrychus minutus*) e sgarza ciuffetto (*Ardeola ralloides*), segnalate negli anni scorsi (Calovi & Mattedi, 1995) e più recentemente alzavola (*Anas crecca*) e airone bianco maggiore (*Ardea alba*). I laghi sono inoltre occasionalmente frequentati da alcuni aironi cenerini (*Ardea cinerea*) alla ricerca di cibo.

# **Mammiferi**

L'area è regolarmente frequentata da diversi mammiferi tra cui cervo (*Cervus elaphus*), capriolo (*Capreolus capreolus*), camoscio (*Rupicapra rupicapra*), volpe (*Vulpes vulpes*), martora (*Martes martes*), scoiattolo (*Sciurus vulgaris*), lepre alpina (*Lepus timidus*) e diversi micro-mammiferi. La loro osservabilità tuttavia è limitata dall'elevata frequentazione turistica.

# Capitolo VIII Sedimenti

Un lago non è un'entità a sé, ma un ecosistema in cui i diversi comparti sono profondamente relazionati tra loro e pertanto, quando si affronta lo studio di un lago, è fondamentale considerare non solo la componente idro-biologica della conca lacustre, ma anche il suo bacino imbrifero, le deposizioni atmosferiche e i suoi sedimenti. Questi ultimi non sono solo l'habitat di vaste e diversificate comunità bentoniche e microbiche, ma sono sede di complesse interazioni con gli strati d'acqua sovrastanti e fungono da deposito di composti chimici e forme biologiche di resistenza che possono tornare in sospensione e rientrare nei cicli biologici nella colonna d'acqua (Guilizzoni, 2012). Vari fattori concorrono alla formazione e conservazione dei sedimenti (Fig. 8.1): infatti ogni cambiamento nella qualità e quantità delle sostanze che arrivano al lago, inclusa la quantità d'acqua, avrà prima o poi ripercussioni sui processi limnologici i quali, a loro volta, influenzeranno i processi di sedimentazione e la natura del sedimento. Col passare del tempo sul fondo del lago si accumulano i resti organici degli organismi che lo hanno popolato e particelle minerali, generalmente a granulometria fine che si sono via via formate. Contemporaneamente, alla componente vegetale derivata dalla produzione algale e macrofitica autoctona, vanno ad aggiungersi le polveri e i resti della vegetazione terrestre e ripariale (pollini, semi, foglie ecc.), che trasportati dal vento cadono nell'acqua e si depositano anch'essi sul fondo. Se poi vi sono tributari o un ruscellamento superficiale, anche il loro carico in sospensione e di fondo (ghiaie, sabbie, limi, frammenti vegetali e organici, ioni inorganici disciolti nelle acque degli immissari e nelle precipitazioni atmosferiche) andrà ad aumentare il volume dei sedimenti. Le particelle presenti all'interno della colonna d'acqua, siano esse organiche o meno, possono subire delle trasformazioni prima di arrivare sul fondo, all'interfaccia acqua/sedimento, e anche una volta deposte (processi di diagenesi). Pertanto, a volte si conserva solo una parte di queste particelle, talora con una diversa composizione chimica rispetto a quella iniziale (si

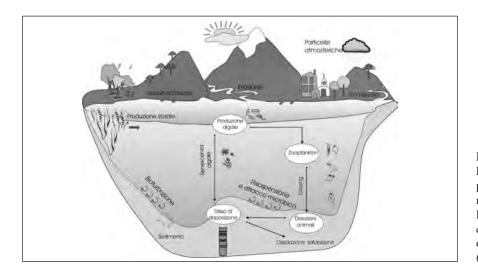


Fig. 8.1
Rappresentazione schematica dei principali fattori che contribuiscono alla formazione dei sedimenti lacustri e dei processi di alterazione e decomposizione della sostanza organica durante la sedimentazione (modificato da Guilizzoni, 2012).

veda paragrafo sui pigmenti algali). Inoltre, si possono anche verificare dei fenomeni di disturbo subacquei, legati per esempio a piene, frane, scosse sismiche e interventi antropici, che in genere alterano fortemente il registro sedimentologico. La morfologia lacustre e i fattori climatici quali vento e insolazione influenzano anch'essi la stratificazione chimico-termica della colonna d'acqua, e determinano il grado di disturbo che può avere il sedimento per fenomeni legati a onde e correnti interne.

Un lago mediamente profondo e ben stratificato con ipolimnio anossico ha maggiori probabilità di conservare un segnale stagionale nei suoi sedimenti rispetto ad un lago magari più ampio ma con acque basse, in cui il movimento oscillatorio delle onde aumenta la risospensione del sedimento e la presenza di ossigeno permette la vita sul fondale, dando luogo a fenomeni di bioturbazione.

# Sedimenti lacustri superficiali

R. Trevisan, S. Musazzi

Nei sedimenti di nuova formazione si trovano, assieme alle forme planctoniche, che si depositano sul fondo e qui sopravvivono (Cyr, 1998a; 1998b), anche le forme di resistenza di più specie algali, che possono avere diversi ruoli ecologici: superare l'inverno o sopravvivere a lungo, durante i periodi caratterizzati da condizioni avverse (McQuoid & Hobson, 1996).

Gli organismi fitoplanctonici viventi sviluppano meccanismi di galleggiamento per diminuire la velocità di sedimentazione e per restare il più a lungo possibile negli strati eufotici (giorni o settimane). Fattori che influenzano la vitalità, come ridotta insolazione, limitazione dei nutrienti, attacco fungino, o competizione tra specie, possono far aumentare la sedimentazione del fitoplancton (Reynolds, 1984).

Durante l'inverno e l'inizio della crescita primaverile la sedimentazione rappresenta la maggior parte del tasso di perdita fitoplanctonica (Bleiker & Schanz, 1997). Se si considera il tasso di sedimentazione con esperimenti "in situ", bisogna allora considerare che una parte del materiale organico è mineralizzato nelle stesse trappole (Gächter & Mares, 1985).

La sedimentazione spesso costituisce il principale processo di perdita di fitoplancton e quindi di produzione primaria; questa è la "sedimentazione fresca o nuova" (Sandford, 1992), o primaria. Considerando inoltre il ruolo predominante della risospensione nella formazione del flusso di sedimentazione (Nöges *et al.*, 1999), ricordiamo che nei laghi poco profondi l'effetto dell'onda si sente molto e c'è molta risospensione: minima durante la stratificazione termica, ma considerevole durante la circolazione del lago (Cyr, 1998a). Anche se il grazing dello zoo, la rapida mineralizzazione e l'influenza dell'emissario hanno una grande importanza (Sommer, 1987), la sedimentazione resta uno dei fattori chiave di controllo dei nutrienti per la crescita del fitoplancton (Schanz & Stalder, 1998).

# Analisi dei sedimenti freschi superficiali dei Laghi di Colbricon

Negli anni 1999-2000 sono stati prelevati diversi campioni di sedimento superficiale allo scopo di analizzare e confrontare il materiale sedimentato durante i tre mesi estivi (5 luglio - 2 ottobre 1999) con quello presente nei campioni raccolti nel lago nello stesso periodo e di valutare la sedimentazione durante la stagione invernale, quando i laghi sono ricoperti dal ghiaccio (ottobre 1999 - maggio 2000).

#### Metodi di laboratorio

Al fine di valutare il tasso di sedimentazione, il materiale sedimentato è stato raccolto mediante 4 appositi cilindri campionatori posti all'interno di una cassetta zavorrata, appoggiata al fondo ad una profondità di 8.5 m nel Lago CS e 5 m nel Lago CI (Fig. 8.2). Le loro dimensioni (soprattutto per l'altezza) sono tali da evitare la risospensione, fattore importante in laghi poco profondi e sottoposti a frequenti venti (Blösch & Uehlinger, 1986). In laboratorio si è proceduto a diversi tipi di analisi: una parte del campione è stato osservato al microscopio ottico a fresco, una parte è stata fissata con Lugol, e un'altra è stata messa in coltura al fine di individuare le specie presenti nel campione ma in scarsa quantità. Le colture di tutti i campioni sono state inoculate su terreno BBM (Bold's Basal Medium), adatto a tutti i microrganismi autotrofi (Stein, 1973). Il terreno di coltura, una volta sterilizzato, è stato solidificato con Agar (15g/l) e posto in piastre Petri che sono state incubate a temperatura di 24°C, irradianza di 94-100 mmol photons m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>, e con un periodo di luce/buio di 14/10 ore. Per evidenziare le specie di cianoprocarioti presenti nei campioni, ma non sviluppatesi nelle colture a causa della massiccia crescita di altri gruppi algali (diatomee e cloroficee), sono state allestite altre colture in terreno BBM liquido con l'aggiunta di actidione (cicloesimide) nella concentrazione di 250 mg/l, al fine di inibire la crescita degli organismi eucarioti (Salmaso et al., 1995). Dopo 15 giorni di incubazione si è proceduto all'osservazione delle colture. Sia per i campioni coltivati che per quelli fissati, la determinazione tassonomica è avvenuta mediante osservazione al microscopio ottico, esprimendo i risultati delle colture su piastra come frequenza relativa dei taxa trovati. Per l'osservazione di alcuni campioni fissati è stata necessaria una precedente sonicazione al fine di rompere i grossi aggregati di materiale sedimentato e rendere così più facilmente identificabili le microalghe. I vari taxa algali sono stati ordinati secondo la sistematica proposta da Van den Hoech et al. (1995). Di tutti i campioni fissati è stato fatto un conteggio, al microscopio invertito, per ricavare valori relativi di densità (Lund et al., 1958). Le diatomee sono state osservate al microscopio ottico dopo un trattamento di pulizia dei frustuli seguendo Renberg (1990); e al microscopio elettronico a scansione (Cambridg Stereoscan 250 presso il "Centro Universitario Grandi Apparecchiature Scientifiche" CUGAS del'Università di Padova) dopo disidratazione in etanolo e metallizzazione.



Fig. 8.2
Foto subacquea dell'apparato di campionamento dei sedimenti di nuova formazione.

## Risultati

In Tab. 8.1 sono riportati il tasso di sedimentazione fresca, la densità totale microalgale e la biomassa dall'analisi dei sedimenti superficiali estivi (5 luglio - 2 ottobre 1999) e invernali (ottobre 1999 - maggio 2000) del Lago CS e del Lago CI. Solo per il periodo invernale è stata valutata la densità delle stomatocisti di Chrysophyceae e delle Diatomee.

Analisi dei sedimenti superficiali estivi (5 luglio - 2 ottobre 1999) del Lago CS sono state individuate alcune desmidiacee: Arthrodesmus sp. ed Euastrum sp. La scarsa presenza delle clorofite è spiegata con una loro rapida mineralizzazione. Tra i Cyanoprokariota il numero di specie è scarso: Aphanothece sp., Cyanothece aeruginosa e Spirulina sp. e con bassa densità totale, maggiore frequenza delle crisoficee e minore frequenza delle bacillarioficee presenti però con un maggior numero di specie. Sono stati individuati 67 taxa di cui 7 appartenenti ai Cyanoprocarioti.

Analisi dei sedimenti superficiali estivi (5 luglio - 2 ottobre 1999) del Lago CI degli 85 taxa individuati i due raggruppamenti maggiormente presenti sono: bacillarioficee (27%) e cianoficee (57%) le specie presenti appartengono principalmente alle bacillarioficee (32); zignematoficee (12); cloroficee (11) e cianoficee (9). In termini di densità le specie più rappresentative sono una Pseudanabaenoideae, *Thyconema bornetti*, *Aphanocapsa holsatica*, *Cyclotella* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Tabellaria flocculosa* e *Kephyrion* sp.

Nei sedimenti invernali (ottobre 1999 - maggio 2000) del lago CS risultano essere maggiormente presenti: Aphanothece microscopica, Stomatocisti 120, Tabellaria flocculosa, Dinobryon sociale, Peridinium sp., Monoraphidium contortum, Trachelomonas sp., Staurastrum sp. La percentuale di densità relativa è più omogenea rispetto al Lago CI, dato che la maggioranza relativa si attesta al 38.3% per le cisti di Crysophyceae, a cui fanno seguito Cyanophyceae con 32%, Bacillariophyceae con 13.4% e Crysophyceae con 8.8%. I restanti taxa sono tutti inferiori al 4% con valori minimi per Zygnematophyceae ed Euglenophyceae. In termini di biomassa relativa, come per il Lago CI, la frazione maggiore è dovuta a Peridinium sp., seguono Stomatocisti 62, Staurastrum sp., Navicula sp., Mallomonas sp., Trachelomonas sp., Chroococcus sp. e infine Chlorella sp. La percen-

Tab. 8.1
Tasso di sedimentazione fresca, densità totale microalgale e biomassa dall'analisi dei sedimenti superficiali estivi (5 luglio - 2 ottobre 1999) e invernali (ottobre 1999 - maggio 2000) del Lago CS e del Lago CI. Per il solo periodo invernale è stata valutata la densità delle stomatocisti di Chrysophyceae e delle Diatomee.

	Estate		Invo	erno	
	CS CI		CS	CI	unità di misura
Tasso di sedimentazione	0,26	0,44	0,18	0,19	cm <sup>3</sup> dm <sup>2</sup> d
Densità Tot. microalghe	20096	12475	1783	1242	cell/mm <sup>3</sup>
Biomassa	23500	11531	2440	4930	mm <sup>3/</sup> dm <sup>3</sup>
Densità Stomatocisti			5195	1639	cell/mm <sup>3</sup>
Densità Diatomee			1818	2602	cell/mm <sup>3</sup>

tuale maggiore di biomassa totale è data, come per il Lago CI, da Dinophyceae (56.4%), seguite da Cisti di Crysophyceae (22.7%), da Bacillariophyceae (10.5%), da Zygnematophyceae (5.2%). Gli altri taxa sommati tra loro giungono solo al 5.1% del totale, con 2.9% dato da Crysophyceae. Nei sedimenti invernali (ottobre 1999 - maggio 2000) del Lago CI le specie più importanti in termini di densità: sono Tabellaria flocculosa, Peridinium sp., Planktothrix sp., Stomatociste 62, Dinobryon sociale, Monoraphidium contortum, Hyalotheca dissiliens, Trachelomonas sp., seppur con una percentuale piuttosto scarsa. In termini di biomassa relativa, predomina Peridinium sp. seguita da Navicula sp., Stomatocisti 62, per poi scendere a valori più bassi man mano che si considerano gli altri taxa. Se consideriamo il peso dei vari taxa in percentuale sulla densità totale, la maggioranza relativa è delle Bacillariophyceae con il 47%, seguono le Cisti con 16.5%, le Cyanophyceae con 10.9%; tutti gli altri taxa rappresentano percentuali inferiori al 10%, con presenze non rilevanti di Zygnematophyceae ed Euglenophyceae. Le Dinophyceae rappresentano quasi il 70% dell'intera biomassa, seguono le Bacillariophyceae con 23.4% e infine le Cisti con solo 3.6%. Gli altri taxa si attestano su percentuali di poco superiori allo 0%.

In entrambi i laghi si notano come i taxa maggiormente presenti, appartengano a Dinophyceae, Cisti di Crysophyceae e Bacillariophyceae.

Avendo a disposizione l'analisi del fitoplancton, raccolto mensilmente, durante tutta l'estate del 1999, è stato fatto un confronto tra il materiale vivo e quello raccolto nelle trappole per sedimenti freschi e messo in coltura nello stesso periodo.

In totale nei Laghi di Colbricon, sul fitoplancton e/o sui sedimenti superficiali, sono stati identificati 91 taxa, di questi 20 sono presenti solo nel Lago CI e solo 10 nel Lago CS. Se valutiamo la presenza complessiva nel fitoplancton e nei sedimenti in entrambi i bacini, riscontriamo 22 taxa: *Aphanothece* spp. con una elevata densità relativa nei sedimenti del Lago CI, *Chlamydomonas* spp., *Oocystis* spp., *Scenedesmus* spp., *Cosmarium* spp., *Spondylosium planum*, *Staurastrum* spp., *Kephyrion* sp., *Mallomonas* sp., *Peridinium* sp. (questi ultimi tre, sempre con elevata densità relativa). Le diatomee sono le più presenti in tutti i campioni con 39 taxa di cui 12 con alta densità relativa, sono da evidenziare *Fragilaria* spp., *Navicula* spp. e *Tabellaria flocculosa*.

#### Conclusioni

Lo studio dei sedimenti freschi è servito per un confronto tra il fitoplancton vitale nella zona eufotica e la tipologia algale sedimentata durante il periodo libero dai ghiacci (5 luglio - 2 ottobre 1999) e quella sedimentata nel periodo di copertura del giaccio (ottobre 1999 - maggio 2000) in entrambi i Laghi di Colbricon. I tassi di sedimentazione nel periodo estivo variano molto tra i due laghi (0,26 e 0,44 cm³ dm² d rispettivamente nel Lago CS e nel Lago CI)

(vedasi sottocapitolo "comunità microalgale"). Durante il periodo invernale il tasso di sedimentazione è dello stesso ordine di grandezza (0,18 e 0.19 cm³ dm² d). Ciò è legato alle simili condizioni in cui si trovano entrambi i bacini, la quantità di luce è il fattore maggiormente limitante per la crescita algale. Questo studio è stato eseguito coscienziosamente in base alla bibliografia aggiornata conosciuta e come tale è qui riportato.

#### Sedimenti come archivio storico

S. Musazzi, A. Lami

Comprendere il presente implica la comprensione di ciò che è venuto prima; senza dati a lungo termine, ad esempio, non possiamo mostrare fino a che punto un ecosistema si è deteriorato (o ripreso), non possiamo stabilire misure di risanamento realistiche o determinare il livello di disturbo che un evento negativo ha avuto sull'ambiente; né sarà possibile capire le traiettorie del cambiamento futuro. Tuttavia la maggior parte delle nostre informazioni derivate da un monitoraggio costante, sono disponibili solo a partire dagli anni '80 salvo documenti sporadici esistenti dai primi anni '50 (Guilizzoni, 2012).

Per superare questo inconveniente a partire dagli anni '70 è andata sviluppandosi la paleolimnologia, una scienza che unisce la limnologia, il ramo dell'ecologia che studia i laghi, alla paleontologia, lo studio dei fossili. Ciò significa che la paleolimnologia è lo studio dei laghi come lo erano nei periodi passati, dal più recente (Olocene) a quello molto remoto (medio Pleistocene o ancora più indietro). La disciplina studia l'origine e la storia geomorfologica dei bacini lacustri e la risposta delle loro biocenosi (comunità animali e vegetali) alle variazioni della qualità delle acque e dell'ambiente circostante (ad es. stato trofico, variazioni climatiche, livello d'acqua e sostanze disciolte sospese) che si sono verificate nel tempo.

L'obiettivo della paleolimnologia non è limitato allo studio di un lago, ma cerca anche di ricostruire la storia di tutto il sistema "lago-bacino imbrifero-atmosfera". Attraverso lo studio stratigrafico di carote di sedimento, si scoprono fenomeni legati a situazioni locali chiaramente limitate nel tempo e fenomeni di rilevanza globale come i grandi cambiamenti climatici associati alle varie fasi della glaciazione e il più recente riscaldamento globale (paleoclimatologia).

I sedimenti lacustri infatti rappresentano, tra i depositi continentali, uno dei più completi e dettagliati archivi naturali, nei quali è documentata l'evoluzione temporale, sia delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche della conca lacustre, sia del clima della regione nella quale il lago si colloca. I laghi e il mondo biologico che in essi si sviluppa, infatti, sono influenzati da una serie di fattori estrinseci e intrinseci (caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino imbrifero, copertura vegetale, temperatura e pio-

vosità media annua, apporto di sedimenti e nutrienti ecc.) che sono direttamente o indirettamente legati al clima e all'ambiente circostante.

I presupposti sui quali si basa la paleolimnologia e più in generale la paleoecologia, sono essenzialmente due: (1) le leggi ecologiche che regolano i processi siano rimaste immutate nel tempo e (2) l'ecologia degli organismi fossili possa essere dedotta in base all'ecologia di specie equivalenti o simili tuttora viventi. La teoria, nota sotto il nome di attualismo, avanzata da James Hutton e Giovanni Arduino nel diciannovesimo secolo, è basata sull'idea che il "presente possa costituire la chiave del passato" e che le caratteristiche geologiche della Terra debbano essere il risultato di processi tuttora in atto, operanti attraverso lunghi periodi. Essa può essere considerata il principio fondamentale sul quale si basano la geologia e la paleoecologia o, nel caso dei laghi, la paleolimnologia (Guilizzoni, 2012). Questa materia affronta due importanti temi di ricerca, ognuno con obiettivi e scopi ben diversi. Uno riguarda la ricostruzione dei cambiamenti (fisici, chimici e biologici) nello stato di un lago accaduti a seguito sia di fenomeni naturali, quali i cambiamenti climatici, sia di fenomeni causati dalle attività dell'uomo (es. eutrofizzazione) su un lasso di tempo che potrebbe situarsi piuttosto indietro nel passato, fino ai giorni nostri. L'altro importante tema di ricerca da affrontare è quello che mira a descrivere e quantificare l'inizio, la portata e la velocità dell'impatto di fenomeni naturali e/o antropogenici sull'ambiente lacustre, sia in tempi recenti che in epoca remota. In altre parole, quello che si vuole sapere è, ad esempio, se un lago ha sempre ospitato la stessa flora e fauna, se le sue condizioni trofiche o il suo livello d'acqua o il chimismo sono cambiati nel tempo, e così via.

Gli ecosistemi terrestri ed acquatici non sono rimasti invariati nel corso degli anni, al contrario hanno spesso subito profondi cambiamenti. Ogni variazione nella qualità e quantità delle sostanze (inclusa la quantità d'acqua) che arrivano al lago, avrà prima o poi ripercussioni sui processi limnologici i quali, a loro volta, influenzeranno i processi di sedimentazione e la natura del sedimento. In alcuni casi parti di laghi sono state separate dal corpo principale, dando origine ad altri bacini lacustri. Molti laghi sono affondati, diventando paludi, altri sono diventati più piccoli, in area o in profondità, mentre altri sono scomparsi, dopo aver occupato crateri vulcanici, cavità e valli. Sappiamo anche che il clima della Terra ha subito profondi cambiamenti durante i periodi geologici e, in particolare, in quello attuale, il Quaternario. Durante questo periodo la transizione da periodi glaciali a periodi caldi ha avuto un'influenza diretta o indiretta sul paesaggio e, nel periodo più recente, sulla vita quotidiana degli esseri umani. Questi ultimi da quando hanno iniziato ad avere una struttura sociale tale da occupare determinati territori in modo permanente, dando origine alle prime civiltà, hanno anch'essi alterato il loro ecosistema, sia terrestre che acquatico, spesso in modo radicale.

## **Campionamento**

I sedimenti lacustri vengono campionati utilizzando strumenti chiamati carotatori. Ne esistono di varie tipologie e dimensioni, da quelli portatili relativamente leggeri (circa 15 kg), che penetrano nel fondo a profondità variabili per caduta libera, a carotatori a pistone enormemente pesanti (circa 400 kg), che richiedono l'uso di una piattaforma, chiatta o imbarcazione e che, se necessario, possono essere guidati nel sedimento mediante un'azione percussiva. I carotatori pesanti possono prelevare campioni di sedimento lunghi diversi metri, consentendo ai ricercatori di studiare periodi di tempo che possono essere molto lunghi (molte migliaia di anni). Poiché i tassi di sedimentazione (espressi in mm o cm / anno) sono abbastanza diversi a seconda dell'origine e geomorfologia di ogni lago, la risoluzione temporale può essere quasi annuale o decennale per un lago di origine glaciale, ma decennale o centennale per i laghi vulcanici.

#### **Datazione**

L'interpretazione corretta dei risultati derivati da uno studio stratigrafico è possibile solo quando si è a conoscenza di una realistica datazione del sedimento. Questa può essere ottenuta attraverso metodi indiretti, tra cui quelli che utilizzano isotopi radioattivi (14C; 3H; 137Cs; 210Pb), o dei marker biologici o antropici la cui datazione è certa (particelle carboniose, tefre, pollini e spore) e fisici (modificazioni del campo magnetico terrestre). Inoltre, se sul fondo del lago l'attività biologica è piuttosto limitata, se il disturbo che deriva da correnti subacquee è minimo, e sono presenti condizioni di anossia, il sedimento può presentare una struttura a lamine ben visibili composte da una lamina scura, deposta in autunno-inverno e una lamina chiara di calcite, deposta in primavera-estate. Queste laminazioni, se sono annuali, si chiamano varve e il loro conteggio costituisce un metodo di datazione assoluta, concettualmente molto simile a quello della dendrocronologia (basata sullo studio degli anelli di crescita degli alberi) o del conteggio dei livelli di accrescimento di speleotemi e coralli. (Last & Smol (eds), 2001).

Più dettagliatamente, i radionuclidi a vita breve (210 Pb, 137 Cs, 241 Am) sono utilizzati per datare sedimenti molto recenti (0-150 anni). Il primo è legato alla serie di decadimento naturale dell'238 U e si basa sul disequilibrio tra il 210 Pb e il suo isotopo padre nella serie. Il 137 Cs e il 241 Am sono degli isotopi radioattivi, la cui produzione è legata ai test di armi nucleari successivi alla Seconda Guerra Mondiale, che hanno avuto un picco nel 1963 ben visibile nei profili stratigrafici. In Europa è presente un secondo picco, più marcato ancora, corrispondente all'incidente nucleare di Cernobyl del 1986. Il 14 C è stato il primo metodo di radiometria a essere messo a punto nel 1951, permette di datare sedimenti di età compresa tra 1000 e 30000 anni, ed è di gran lunga il sistema più utilizzato in paleolimnologia per la datazione di materiale contenente carbonio e

più in generale per lo studio del Quaternario. Si basa sul decadimento radioattivo del <sup>14</sup>C. Pur essendo assai diffuso, il metodo presenta alcuni inconvenienti di calibrazione.

Le particelle carboniose sferoidali (SPC) sono prodotte dalla combustione ad alta temperatura di carbone e petrolio; la loro presenza nei sedimenti lacustri recenti (ultimi 50-100 anni) costituisce un marker sicuro della deposizione atmosferica di inquinanti industriali conseguente al processo di industrializzazione di un'area. È probabile che in futuro, quando il metodo del <sup>210</sup>Pb diventerà progressivamente inutilizzabile per datare i sedimenti post-industriali, la determinazione temporale tramite SPC assumerà maggiore importanza.

La tefrocronologia si basa sull'individuazione nella serie sedimentaria di strato di ceneri e materiali vetrosi derivanti da un'eruzione vulcanica (detti tefra), la cui origine può essere messa in correlazione con esplosioni vulcaniche note e datate. Questo è possibile sia analizzando struttura e composizione chimica delle ceneri, che sono peculiari per tipo di eruzione e origine geologica, sia datando le tefra mediante metodi radiometrici (con il radiocarbonio o con i metodi K-Ar<sup>40</sup> e Ar-<sup>39</sup>Ar). Queste ceneri vulcaniche possono viaggiare anche per svariate centinaia di chilometri, in funzione delle loro dimensioni, della forza dei venti e della potenza delle eruzioni vulcaniche che le hanno originate e pertanto si possono trovare anche in aree non direttamente interessate dall'evento eruttivo (Last & Smol (eds), 2001).

Analogamente, la comparsa di determinati tipi pollinici in un registro sedimentario può esser messa in relazione a noti e datati interventi antropici in un'area, quali l'introduzione di pratiche agricole (ad es. i cereali sostituiscono le piante arboree) o la diffusione di specie alloctone (ad es. le piante di eucalipto furono introdotte in Argentina alla fine del 1800).

#### Parametri analizzati

Lo studio paleolimnologico di un ambiente lacustre comprende l'analisi dei "proxy-records", cioè indicatori biologici e non, presenti nei sedimenti che forniscono informazioni indirette sulle condizioni del lago e dell'ambiente circostante. Ad esempio: la composizione mineralogica dei sedimenti e gli apporti clastici sono relazionati alle fluttuazioni dei ghiacciai e all'erosione dei suoli e del bacino imbrifero, i resti dei chironomidi (insetti ditteri) sono "proxy-record" per la temperatura dell'acqua, i pigmenti fotosintetici algali e batterici per la produzione primaria, l'intensità della radiazione solare e le condizioni di ossigenazione, le diatomee e le stomatocisti di Chrysophyceae per l'idrochimica (pH, salinità, conduttività concentrazione di metalli e di nutrienti) e il clima, le particelle carboniose danno informazioni sul trasporto di inquinanti o sulla frequenza di incendi, macro-resti e granuli pollinici indicano con precisone la copertura vegetazionale del territorio.

Le relazioni tra la distribuzione attuale di questi indicatori e le variabili ambientali che la influenzano possono essere rappresentate tramite funzioni matematiche chiamate "transfer functions", che descrivono la risposta di un sistema ad un *input*. Queste relazioni, una volta calibrate, se applicate ai dati qualitativi ottenuti dallo studio stratigrafico, permettono di ottenere delle ricostruzioni quantitative (per es. la temperatura media annua o estiva, la piovosità, il contenuto in fosforo...) o semi-quantitative (variazioni del livello lacustre) delle variazioni di queste variabili nel tempo (Birks *et al.*, 2001; Marchetto & Musazzi, 2001; Guilizzoni *et al.*, 2011).

Ognuno di questi proxy inevitabilmente ha una propria efficacia ma anche dei punti deboli, cosicché un aspetto essenziale della moderna ricerca paleoambientale è implementare gli studi basati sull'analisi multi-proxy. Più numerosi sono gli "indicatori" studiati nella stessa serie lacustre, più attendibile e robusta sarà la ricostruzione ottenuta (Birks & Birks, 2006).

#### Le Diatomee

Le Diatomee (divisione Bacillariophyta), sono alghe unicellulari, eucariote autotrofe caratterizzate da pareti cellulari fortemente silicizzate e da pigmentazione bruno-dorata. Sono organismi di dimensioni piccolissime, che variano da pochi micron fino a oltre mezzo millimetro (si pensi che la cruna di un ago è larga 1 mm, ovvero 1000 micron).

Sono sia planctoniche che bentoniche e popolano tutti gli ambienti sia delle acque dolci che marine, ma con elevata specificità alle condizioni ambientali: caratteristiche geografiche, idrologiche e chimico-fisiche del corpo idrico che le ospita. Si rinvengono in tutti i tipi di acque anche oltre i 200 m di profondità, ma non solo, si trovano anche nei ghiacci, nei terreni, sui monumenti e perfino in atmosfera. Sebbene una singola specie possa vivere in più ambienti, ci sono differenze tali per cui ciascun habitat ha una comunità caratteristica. Le cellule sono solitamente solitarie ma alcuni taxa formano colonie a catena.

Come tutte le cellule vegetali, anche le diatomee possiedono una parete cellulare, che conferisce rigidità e capacità di mantenimento della forma, e contribuisce ad alcuni processi fisiologici. Tuttavia la parete delle diatomee, chiamata frustulo, presenta caratteristiche uniche in tutto il regno vegetale. In essa viene immagazzinato del gel di silice idrata del tipo opale, che la rende dura e resistente come il vetro e pertanto altamente resistente alla degradazione nel sedimento (le prime diatomee risalgono al periodo cretaceo, 135 milioni di anni fa circa). Il frustulo avvolge il protoplasto come una scatola in due parti chiamate valve (rispettivamente ipovalva, più piccola, ed epivalva, più grande) che si sovrappongono e incastrano, avvolgendo la cellula vegetale come una scatola col suo coperchio, e da una cintura in corrispondenza della zona di sovrapposizione.

Le valve sono scolpite in modo incredibilmente vario (con linee, reticolati, fossette, verruche ecc.) e specie-specifico; pertanto forma, dimensioni e ornamentazioni hanno grande valore sistematico. Un'altra importante caratteristica del frustulo ed elemento di separazione tra i diversi ordini è la presenza o meno del rafe, una stretta fessura che corre lungo l'asse longitudinale della valva, necessaria per il movimento. Attraverso il rafe infatti, vengono secrete sostanze polisaccaridiche che permettono il movimento strisciante delle cellule su substrati adatti. A seconda che il rafe sia presente su entrambe le valve, solo su una o sia assente, le diatomee sono dette birafidee, monorafidee o arafidee.

In base alla forma, ad una prima osservazione è possibile distinguere due gruppi principali:

- centriche: simmetria raggiata, faccia valvare circolare, triangolare o quadrata con disposizione radiale o concentrica delle ornamentazioni, sono tutte planctoniche arafidee e pertanto immobili, ovvero trascorrono il loro intero ciclo di vita sospese nella colonna d'acqua;
- pennate: simmetria bilaterale con ornamentazioni disposte come le barbe di una penna, hanno un frustulo di forma ellittica, bastoncellare o a navetta. Sono principalmente bentoniche (mono o birafidee), cioè vivono aderenti a substrati lungo la zona litorale e la loro estensione in acque profonde dipende dalla disponibilità di substrati adatti e dal grado di penetrazione della luce. Il tipo di substrato al quale aderiscono è una caratteristica molto importante che controlla la distribuzione delle specie. Le comunità bentoniche sono, infatti, usualmente distinte in epifitiche se attaccate ai vegetali, quali macroalghe, muschi e piante acquatiche, epipeliche, o epipsammiche se libere sul limo di fondo o sulla sabbia ed epilitiche se attaccate a substrati duri naturali o artificiali, quali ciottoli, rocce, pilastri di ponti ecc.

Le diatomee normalmente si riproducono per divisione (mitosi) ma in determinate condizioni possono anche ricorrere alla modalità sessuata (meiosi) (Fig 8.3). Quando una diatomea va incontro a mitosi, ciascuna cellula figlia riceve dalla cellula madre una delle due valve, che viene utilizzata come valva esterna (epivalva) e sintetizza una nuova valva interna (ipovalva). In tal modo le cellule che ricevono l'ipovalva materna, matureranno in una cellula più piccola della cellula madre, portando a una progressiva diminuzione della dimensione media dei frustuli nella popolazione dopo ogni ciclo cellulare. Questo ovviamente non potrà andare avanti per sempre e quando una cellula raggiunge una dimensione critica per la vita della stessa (corrispondente ad 1/3 della taglia massima della specie), viene stimolata la riproduzione sessuale, con produzione di spore di accrescimento (o auxospore) all'interno delle quali si forma una nuova diatomea che, prima di sintetizzare il proprio frustulo, si accresce fino al raggiungimento delle dimensioni massime possibili per la specie. In tal modo viene ripristinata la taglia massima. È stato dimostrato che cicli sessuali (dalla taglia

massima iniziale al ripristino della successiva taglia massima) possano durare anche 20 anni. Cicli così lunghi consentono di mantenere la capacità di riprodursi sessualmente minimizzando però i costi energetici (Smol & Stormer, 1999).

In risposta a particolari fattori (carenza di nutrienti, temperatura, intensità luminosa, pH) le diatomee possono produrre anche delle spore durature, ricche di sostanze di riserva per superare periodi critici, che possono rigerminare al ripresentarsi delle condizioni favorevoli per la crescita della specie.

Ci sono molti fattori che rendono le diatomee importanti nello studio della storia passata degli ambienti acquatici: (1) abbondanza. Nei bacini lacustri spesso le diatomee rappresentano il gruppo algale dominante. (2) diversità ecologica. Sono più di 10000 le specie di diatomee ad oggi identificate e sebbene una singola specie possa vivere in più ambienti, ci sono differenze tali per cui ciascun habitat ha una comunità caratteristica. (3) conservazione. Le diatomee possiedono un frustulo siliceo assai resistente (Koinig *et al.*, 2008). (4) identificazione. La tassonomia delle diatomee è basata sulle caratteristiche del frustulo; ciò rende gli individui fossili identificabili tanto quanto le specie viventi. (5) alto valore indicatore. Molte specie di diatomee hanno una spiccata preferenza per ambienti che presentano valori ben determinati di alcune variabili ambientali. (6) modalità di riproduzione. La velocità con cui si svolge la moltiplicazione cellulare vegetativa, fa sì che la composizione di diatomee rifletta i rapidi cambiamenti ambientali (Battarbee *et al.*, 2001).

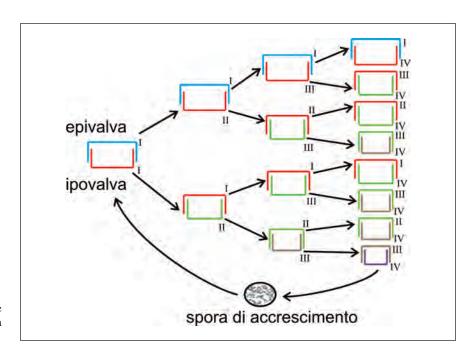


Fig. 8.3 Schema di un ciclo sessuale nelle diatomee (Disegno modificato da Nybakken, 1993).

## I pigmenti algali

Le piante superiori, le alghe e i batteri sintetizzano una varietà di composti organici pigmentati che utilizzano nelle reazioni di fotosintesi. I pigmenti contengono gruppi cromofori che assorbono la luce visibile e danno alle molecole i loro caratteristici colori. Le clorofille assorbono energia solare più efficientemente nella zona del rosso dello spettro visibile (pertanto conferiscono la colorazione verde), a lunghezze d'onda che non penetrano in profondità nell'acqua. Per questa ragione i vegetali acquatici sintetizzano differenti carotenoidi che utilizzano come pigmenti accessori in quanto assorbono luce in un più ampio range dello spettro. La tabella 8.2 riporta i principali pigmenti (clorofille e carotenoidi) e la loro specificità tassonomica.

La clorofilla *a* si trova in tutti gli organismi acquatici fotosintetici ad eccezione di alcune specie di batteri autotrofi. I suoi prodotti di degradazione (feofitina *a*, feoforbide *a*, clorifillide *a*) si trovano relativamente ben preservati nei sedimenti lacustri (Sanger, 1988). Anche i carotenoidi sono ampiamente distribuiti in quasi tutti gli organismi fotosintetici ma presentano una specificità per i diversi gruppi algali; quelli che comunemente sono presenti nei sedimenti, sono suddivisibili in due grandi categorie, differentemente solubili nei diversi solventi (es. metanolo e etere di petrolio): epifasici (caroteni) e ipofasici (xantofille). Questo aspetto, unito alla sufficiente stabilità nel tempo, fa sì che essi siano potenzialmente molto utili negli studi sull'evoluzione della comunità algale e sulla produttività dell'ecosistema (Sanger, 1988). In anni più recenti è inoltre cresciuto l'interesse per la presenza di carotenoidi di solfobatteri fotosintetici nel sedimento (Guilizzoni & Lami, 2002) quale preziosa fonte di informazioni circa, per esempio, la penetrazione della luce e la presenza di solfuri nelle acque.

I pigmenti arrivano sulla superficie del sedimento di un lago sia sotto forma di materiale particellato proveniente da organismi autoctoni, sia mediante apporti di materiale alloctono prodotto da essenze vegetali presenti nel bacino imbrifero o lungo i litorali. Uno studio stratigrafico di queste sostanze organiche offre potenzialmente la possibilità di identificare e quantificare indirettamente il tipo di popolazione algale esistente nel momento della loro sedimentazione (Guilizzoni & Lami, 2002).

Per quanto riguarda l'importante aspetto della conservazione, in genere sia i pigmenti che derivano dal bacino, sia quelli di derivazione autoctona non giungono al lago intatti, cioè nella loro forma originale, ma sono rapidamente degradati, se non vengono incorporati velocemente nei sedimenti. Vari fattori e processi determinano la degradazione dei pigmenti prima o durante la loro deposizione, tra questi: la foto-ossidazione, l'assunzione di alghe da parte degli erbivori (grazing o pascolo) e il processo di degradazione microbica mediato dalla temperatura e associato alla senescenza cellulare (Leavitt & Hodgson, 2001).

Anche la profondità della conca lacustre influisce sul grado di conservazione. I sedimenti di laghi profondi ricevono generalmente meno luce o

Pigmenti	Taxa
Alloxantina	Criptofite
α-carotene	Criptofite, Clorofite, Tracheofite
β-carotene	comune a tutti i vegetali, alcuni batteri
Astaxantina	Invertebrati erbivori, alcune clorofite
Cantaxantina	Invertebrati erbivori, alcuni cianobatteri filamentosi
Echinenone	Cianobatteri
Fucoxantina	alghe silicee
Luteina	Clorofite, Euglenofite, Tracheofite
Mixoxantofilla	Cianobatteri coloniali e filamentosi
Oscillaxantina	Oscillatoriacee
Peridinina	Dinoficee
Zeaxantina	Cianobatteri
Diadinoxantina	Euglenofite
Dinoxantina	Pirrofite, Crisoficee
Myxol-2'-o-metil-metilpentoside	Oscillatoria limosa
4-keto-myxol-2'-metilpentoside	Anabena flos-aquae
Clorofilla a	comune a tutte le piante
Clorofilla b	Clorofite, Euglenofite, Tracheofite
Clorofilla c	Crisofite, Pirrofite
Feoforbide a	derivato della clorofilla a (grazing)
Feofitina a	derivato della clorofilla a comune a tutte le piante
Feofitina b	derivato della clorofilla b comune a tutte le piante
Feofitina c	derivato della clorofilla c (Crisofite, Pirrofite)
Isorenieratene	Solfo batteri verdi (Chlorobium sp.)
Okenone	Solfo batteri rossi (Chromatium sp.)
Licopene	Rhodospirillum sp.
Sferoidene, sferoidenone	Rhodopseudomonas spheroides
Rodopinal	Lamprocystis, Rhodospirillum tenue

**Tab. 8.2** Principali pigmenti specifici e indicazione dei rispettivi taxa di appartenenza (Züllig, 1985; Leavitt & Hodgson, 2001).

si trovano totalmente al buio e anche l'ossigeno può scarseggiare, perciò la degradazione dei pigmenti per foto-ossidazione e quella mediata dagli organismi è minore rispetto ad un lago poco profondo.

In generale, considerando la degradazione da parte degli erbivori, possono verificarsi due situazioni concomitanti, sebbene differenti: l'assunzione di alghe da parte di microerbivori determina una severa degradazione dei pigmenti, mentre l'assunzione delle cellule algali da parte di grossi organismi zooplanctonici (es. dafnie) fa sì che i pigmenti non vengano foto-ossidati durante l'attraversamento della colonna d'acqua ma vengano escreti dall'animale per poi sedimentare velocemente e senza aver subito grosse modificazioni.

Riassumendo, secondo Leavitt (1993), che ha condotto uno studio dettaglia-

to e di revisione dei lavori pubblicati sull'argomento, la degradazione dei pigmenti avviene apparentemente in 3 fasi: (1) rapida ossidazione nella colonna d'acqua con un tempo di dimezzamento (T½) dell'ordine di giorni; (2) piccole perdite post-deposizionali alla superficie dei sedimenti (T½ =anni); (3) rottura molto lenta dei doppi legami in sedimenti profondi (T½=secoli). Nonostante i vari problemi associati alla conservazione di tali composti, i pigmenti sedimentari e l'abbondanza algale rimangono correlati nel tempo, tanto a lungo fino a quando non avvengono cambiamenti nella morfometria del bacino, nella penetrazione della luce, nella stratificazione e nel contenuto di ossigeno nelle acque profonde.

I processi di degradazione e di diluizione sono più evidenti in laghi con una produttività bassa e un apporto alloctono considerevole. Inoltre in questi ambienti esistono in genere una maggiore intensità luminosa e un'elevata concentrazione di ossigeno ipolimnetico che favoriscono i processi foto-ossidativi. Condizioni opposte e più favorevoli alla conservazione dei pigmenti si verificano in laghi eutrofi e, in particolare, in ambienti meromittici nei quali la presenza di un monimolimnio costantemente anossico e stabile fa anche sì che la bioturbazione sia ridotta o assente (Sanger, 1988).

In conclusione, le relazioni tra biomassa algale e concentrazione dei pigmenti fossili sono verosimilmente legate alle caratteristiche di ciascun ambiente e sono controllate da fattori sia chimico-fisici che biologici e morfometrici (Leavitt & Hodgson, 2001; Guilizzoni & Lami, 2002).

# Le Chrysophyceae

Le Chrysophyceae (divisione Chrysophyta) sono una classe di organismi acquatici dal caratteristico colore giallo-oro, dovuto alla presenza nei loro cromatofori di clorofilla a e c, β-carotene e fucoxantina. Si tratta di organismi fotoautotrofi che però in alcuni casi sono in grado di nutrirsi per fagocitosi, sviluppando pseudopodi per catturare piccoli protisti. Come le diatomee possono utilizzare silice biogenica, che tuttavia è immagazzinata all'interno di cisti anziché nella parete cellulare. Hanno due flagelli di diverse dimensioni e forma situati nel lato anteriore. La maggior parte delle specie è molto piccola e la condizione unicellulare mobile risulta essere la più comune (Bold & Wynne, 1987); spesso manca una solida parete cellulare ed in tal caso la forma delle cellule si dimostra essere molto variabile. Le forme di acqua dolce sono di gran lunga le più numerose rispetto a quelle marine (dove sono membri significativi del nanoplancton), e sono importanti per gli studi sulle dinamiche nelle reti trofiche degli ecosistemi oligotrofici d'acqua dolce e per la valutazione del degrado ambientale derivante da fenomeni quali eutrofizzazione e piogge acide (Bold & Wynne, 1987). Si trovano generalmente in acque fredde e povere di nutrienti, ma crescono bene anche a temperature più alte. Inoltre preferiscono acque con pH leggermente acido. Sono spesso

caratterizzate da una spiccata stagionalità e le formazioni di blooms, ovvero di improvvise ed intense fioriture di questi organismi, può essere la causa di alterazione del gusto e dell'odore delle acque che diventano non potabili. Si trovano in un ampio range di gradienti ambientali sebbene le singole specie tendano ad avere preferenze ecologiche ben definite. Esperimenti di eutrofizzazione lacustre hanno dimostrato che le cisti danno una risposta immediata a un incremento di nutrienti mentre diatomee e scaglie di crisoficee mostrano un ritardo di 2-3 anni, risultando così migliori nel monitoraggio a breve termine della chimica dell'acqua (Sandgren, 1988).

Le cellule vegetative sono aploidi (Fig. 8.4). Esse contribuiscono alla crescita vegetativa della popolazione mediante semplice scissione binaria, ma in particolari condizioni, singoli individui possono essere indotti a produrre in modo endogeno forme di resistenza, chiamate statospore, stomatocisti o statocisti. Al ripresentarsi di condizioni ottimali, queste spore sono in grado di ritornare allo stadio vegetativo oppure vengono incorporate nel sedimento diventando componenti importanti dei registri sedimentari. Tale meccanismo rappresenta un adattamento essenziale per la sopravvivenza di questo tipo di alghe (Sandgren, 1988; Zeeb & Smol, 2001).

Le stomatocisti sono tipicamente di forma sferica o obovata con un diametro di 3-35  $\mu$ m e un unico poro d'uscita che in alcuni casi è circondato da un collare silicizzato variamente strutturato. La parete delle cisti mature può essere liscia o presentare diversi elementi ornamentali: spine, creste, reticoli e punti (Sandgren & Carney, 1983). La morfologia delle cisti è ritenuta essere conservativa e generalmente specie specifica, sebbene molte specie producano morfotipi semplici e privi di ornamentazioni che risultano estremamente difficili da differenziare (Sandgren, 1980).

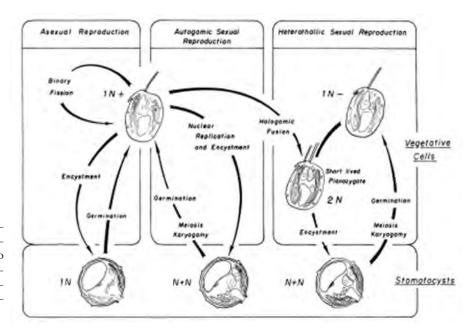


Fig. 8.4
Schema della riproduzione asessuata e sessuata delle alghe Chrysophyceae; si nota come ciascun modo (incistamento asessuato, fusione autogamica e fusione ologamica) sia identico dal punto di vista morfologico (modificato da Sandgren, 1991).

Le Chrysophiceae si riproducono per via sia asessuata (mediante scissione binaria) sia sessuale (mediante meiosi dello zigote che può essere autogamico, ologametico o anisogamo) e in entrambi i casi le cellule vegetative possono produrre stomatocisti che risulteranno essere mono o binucleate. Per molte specie tutte le cisti sia di derivazione sessuata sia di derivazione asessuata non sono distinguibili dal punto di vista morfologico (Bold & Wynne, 1987).

La formazione di cisti per via sessuata non sembra essere innescata da stress ambientali ma sembra essere sotto un controllo endogeno densità-dipendente e quindi solo indirettamente legato a fattori esterni che regolano il tasso di crescita della popolazione (Duff *et al.*, 1997). Questo aspetto assicura che la produzione di cisti, (e la loro sedimentazione) avvenga durante i periodi di attiva crescita della popolazione anziché come una risposta di fuga al declinare della popolazione di cellule vegetative. Di conseguenza le cisti rinvenute nel sedimento forniscono prove fossilizzate di fasi ambientali ottimali piuttosto che stressanti per le popolazioni che le hanno prodotte.

Allo stato attuale delle conoscenze sulla tassonomia delle stomatocisti, spesso non è possibile attribuire una tipologia di ciste ad una singola specie algale, pertanto attualmente viene largamente utilizzato uno schema numerico di identificazione (Sandgren, 1991), inoltre non esiste ad oggi una classificazione numerica universale per le statocisti, rendendone così difficile l'identificazione. È possibile anche che lo stesso morfotipo (in particolare quelli privi di una specifica ornamentazione), sia prodotto da più taxa aventi preferenze ecologiche diverse oppure che la stessa specie produca diversi tipi di cisti a seconda della formazione sessuale o asessuale, delle differenze genetiche, o delle condizioni ambientali (e.g. Sandgren, 1981; 1983). Infine, alcune importanti caratteristiche morfologiche non sono visibili al microscopio ottico e di conseguenza cisti assai simili vengono raggruppate in unità di conteggio. Questi importanti fattori possono ridurre il valore quale indicatore ecologico delle statocisti nell'interpretazione dei dati ostacolando l'uso delle cisti negli studi paleolimnologici (Duff *et al.*, 1995).

Per evitare problemi derivanti dalla classificazione morfologica delle cisti, Smol (1985) ha proposto l'uso di un rapporto numero tra cisti di crisofite e frustuli di diatomee (C/D) per tracciare i passati cambiamenti nello stato trofico di un lago.

## Paleolimnologia del Lago di Colbricon inferiore

S. Musazzi, A. Lami, C. Carcaillet, B. Leys, M. Zannoni, R. Bari, R. Trevisan

Nel mese di settembre 2010 i ricercatori dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Verbania, in collaborazione con quelli del Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova e del Centre for Bio-Archaeology

and Ecology, Institut de Botanique, di Montpellier, Francia hanno organizzato una campagna per la raccolta di carote di sedimento. Nella zona di massima profondità della conca lacustre sono state prelevate tre carote di circa 80 cm (denominate COL 10/1, COL 10/2 e COL 10/3) tramite un carotatore a gravità e una carota lunga 361 cm con un carotatore a pistone (Fig 8.5).

Le carote di sedimento sono state successivamente sezionate ogni centimetro e datate con <sup>137</sup>Cs e <sup>210</sup>Pb (Appleby & Oldfield 1978) e, per dieci campioni della carota lunga, con <sup>14</sup>C-AMS (Reimer *et al.*, 2009), esprimendo le età come anni "before the present" (yr cal B.P.), dove l'anno di riferimento è identificato per convenzione con il 1950 AD. Generalmente i laghi alpini presentano bacini imbriferi di dimensioni ridotte e una bassa produttività lacustre; per queste caratteristiche, se non intervengono fenomeni episodici di frane subacquee, il flusso di sedimentazione è assai limitato e questo consente di ottenere informazioni su epoche molto antiche analizzando carote di pochi metri.

Sulla carota più corta, è stato condotto uno studio preliminare, che ha comportato l'analisi di pigmenti algali, diatomee e un tentativo di studio delle stomatocisti. Le diatomee in particolare sono state utilizzate per ricostruire quantitativamente i principali parametri ambientali come lo stato trofico e il pH del lago nel lungo periodo.

Sui sedimenti della carota lunga invece sono state eseguite diverse analisi: diatomee, pigmenti fotosintetici, particelle carboniose, macro-resti (aghi di conifere, semi) della vegetazione terrestre, allo scopo di ricostruire a livello qualitativo, con un approccio paleolimnologico e multi-proxy le risposte dell'ecosistema nel Lago CI ai ben documentati cambiamenti climatici, avvenuti durante tutto l'Olocene (Guiot *et al.*, 2010), e agli effetti dell'attività umana in questa regione.





Fig. 8.5 A sx: Fase di campionamento da piattaforma galleggiante posta nella zona di maggior profondità del lago. A dx: Sezione longitudinale delle carote COL10/1 e COL10/2, prelevate con carotatore a gravità.

## Metodi di laboratorio

I pigmenti fotosintetici sono stati estratti con una soluzione di acetone/acqua (90:10), e tenuti al buio per una notte in atmosfera di azoto. L'estratto ottenuto è stato utilizzato per quantificare sia le clorofille e i loro derivati, sia i carotenoidi totali mediante uno spettrofotometro (concentrazioni espresse come unità per grammo di sostanza organica: U g<sup>-1</sup> TOC). I singoli carotenoidi sono stati identificati e quantificati mediante cromatografia liquida ad alta pressione: HPLC (concentrazioni espresse in nanomoli per grammo di carbonio organico: nmol g<sup>-1</sup> TOC).

Per l'analisi delle diatomee e delle stomatocisti il campione è stato opportunamente trattato (con perossido di idrogeno e acido cloridrico a caldo) per eliminare la sostanza organica ed infine montato su vetrino con aggiunta di una resina apposita (Naphrax), atta a massimizzare la capacità di risoluzione del microscopio. Il vetrino è stato quindi osservato al microscopio ottico a 1000 ingrandimenti per il riconoscimento sistematico dei generi e delle specie che compongono la comunità. Per l'analisi delle diatomee, in ognuno dei vetrini sono state conteggiate almeno 300 valve, mentre per l'analisi delle Chrysophyceae sono state conteggiate 100 stomatocisti, osservando in successione campi adiacenti ed esprimendo i risultati per ogni specie come percentuale del conteggio totale (%). La determinazione tassonomica delle diatomee, si è basata su: Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991), Lange-Bertalot ed. (2000-2011), Hofmann et al. (2013). I valori di pH sono stati ricostruiti utilizzando il dataset "ALPE", che include 118 laghi alpini, 31 dei quali dislocati sulle Alpi. Per la ricostruzione di TP (fosforo totale) si è utilizzato il dataset "Swiss", che include un set di dati proveniente da 68 piccoli laghi situati sul Plateau svizzero, nelle montagne del Massiccio dello Jura e nelle Alpi. La ricostruzione tramite il software C2 (Juggins, 2003) a partire da questi training set è stata fatta usando il metodo delle medie ponderate (WA) (ter Braak & van Dam, 1989).

Le statocisti delle Chrysophyceae sono state classificate e identificate in base ai caratteri morfologici quali collare, pori, struttura della superficie, spine ecc. seguendo la tassonomia proposta da Duff *et al.* (1995), Pla (2001), Wilkinson *et al.* (2001), Firsova & Likhoshway (2006).

I macro-resti vegetazionali sono stati isolati mediante un setaccio a maglie di 250  $\mu$ m, identificati tramite stereomicroscopio (ingrandimento 6.3–50×) esprimendo i risultati dapprima come concentrazione (numero per volume di sedimento: n cm³) e poi come flusso (numero per area per anno: n cm² yr¹).

Per l'analisi delle particelle carboniose, volumi di 1 cm<sup>3</sup> sono stati prelevati ogni mezzo centimetro, passati a un setaccio a maglie di 160  $\mu$ m e i dati espressi come concentrazione per area (mm<sup>2</sup> cm<sup>-3</sup>).

## **Risultati**

#### Carota corta

Nella carota COL 10/2 prelevata presso il Lago CI, sono stati esaminati 79 campioni per la determinazione dei frustuli di diatomee. In totale sono state identificate 111 specie appartenenti a 40 generi, 11 dei quali presentano un'abbondanza maggiore del 3% in almeno un campione, per un totale di 21 specie (Fig. 8.6).

Ai taxa sono stati assegnati gli indici presenti in Van Dam *et al.* (1994) riguardanti le preferenze di pH e di trofia. Alcune specie non presentano valori indicativi data l'assenza degli stessi o della specie all'interno della checklist. Le percentuali sono state calcolate sul totale dei taxa per cui è stato trovato il valore. La Figura 8.7 mostra l'andamento lungo il profilo stratigrafico delle associazioni di specie raggruppate in base alla preferenza di pH e allo stato trofico che evidenziano una certa costanza lungo tutto il profilo; il pH indica un prevalente stato di neutralità - neutro-alcalinità, mentre lo stato trofico indica una costante situazione di mesotrofia.

Lo stato trofico (Fig. 8.8) basato sulla ricostruzione del fosforo totale attraverso le diatomee, tramite l'utilizzo del dataset Swiss, ha confermato una evidente stabilità del lago con valori di fosforo totale compresi tra 12,2-18,8 µg/l i quali rimangono abbondantemente all'interno della categoria "mesotrofico" (secondo l'indice OECD, 1982), indicando una bassa mesotrofia, in accordo con i valori misurati da Trevisan *et al.* (2010). Si è potuto notare anche un andamento sincrono tra fosforo totale e il rapporto diatomee centriche/pennate che ha portato a pensare che il fosforo totale possa influire sull'incremento dell'abbondanza delle specie centriche rispetto a quelle pennate.

I valori di pH ricostruiti (Fig. 8.9) sono rimasti sempre all'interno di un intervallo compreso tra 6,9 e 7,4 lungo tutto il periodo coperto dalla carota, indicando acque neutre - neutro-alcaline. I valori più bassi si sono riscontrati alla base della carota, portando a ipotizzare l'esistenza di una relazione tra acidità delle acque e aumento della temperatura. Anche per questo parametro, i valori ricostruiti sono in linea con quelli misurati nello studio decennale 1997-2008 (Trevisan *et al.*, 2010).

Questi dati indicano che nel complesso il Lago CI nel periodo 1531-2008 ha dimostrato una grande situazione di stabilità (Zannoni, 2012; Trevisan *et al.*, 2013), per quanto i laghi d'alta quota siano ambienti estremamente vulnerabili e labili, che reagiscono prontamente a perturbazioni ambientali anche di piccola entità.

Per l'analisi delle statocisti sono stati presi in considerazione 19 campioni lungo tutta la carota. In totale sono stati identificati 110 differenti morfotipi dei quali solo 42 presentano un'abbondanza percentuale maggiore del 5% (Fig 8.10). Bisogna ricordare che non esiste una classificazione numerica universale per le statocisti, pertanto l'identificazione è risultata assai diffi-

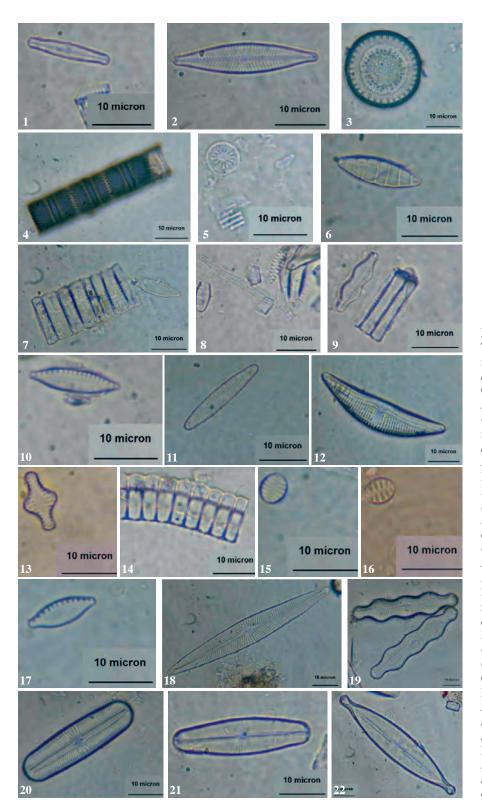


Fig 8.6

Taxa con abbondanza percentuale maggiore del 3%: (1) Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki var. minutissimum, (2) Navicula cryptocephala Kützing, (3) Puncticulata radiosa (Lemmerman) Håkansson, (4) Aulacoseira alpigena (Grunow) Krammer, (5) Discostella stelligeroides (Husted) Houk et Klee, (6) Denticula tenuis Kützing, (7) Staurosira brevistriata (Grunow) Grunow, (8) Fragilaria capucina Desmazières var. capucina, (9) Staurosira binodis (Ehrenberg) Lange-Bertalot, (10) Nitzschia fonticola Grunow, (11) Fragilaria exiguiformis Lange-Bertalot, (12) Amphora libyca Ehrenberg, (13-14) Staurosira pseudocostruens (Marciniak) Lange-Bertalot, (15) Staurosira elliptica (Schumann) Williams & Round, (16) Staurosira mutabilis (W.Smith) Grunow, (17) Nitzschia dealpina Lange-Bertalot & G.Hofmann, (18) Navicula radiosa Kützing, (19) Pinnularia interrupta W. Smith, (20) Sellaphora laevissima (Kützing) D.G.Mann, (21) Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkowsky, (22) Stauroneis anceps Ehrenberg. Modificato da Zannoni, 2012.

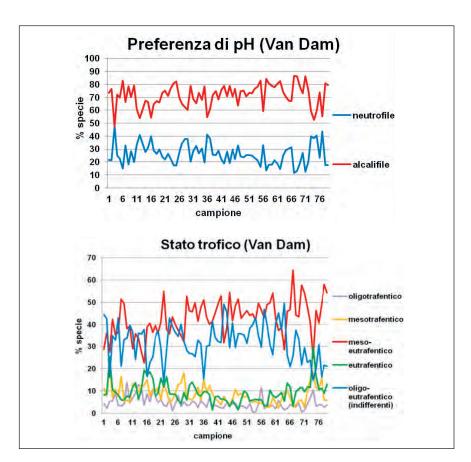


Fig. 8.7 Preferenza di pH e di trofia lungo il profilo stratigrafico della carota COL 10/2 (secondo la classificazione di Van Dam *et al.*, 1994). Da Zannoni, 2012.

cile. Inoltre dei 110 morfotipi individuati, si ha la relativa affinità biologica (ovvero il nome della specie che li ha prodotti) solo per 11; 7 dei quali presentano una corrispondenza con le specie di Chrysophyceae riportate da Trevisan *et al.* (2013) e appartenenti ai generi *Mallomonas*, *Ochromonas* e *Dinobryon*. In generale sono cisti prodotte da specie tolleranti le basse temperature, per lo più indicanti uno stato di neutro-alcalinità e di oligomesotrofia delle acque. Condizioni che rispecchiano quelle riscontrate nel Lago CI.

Nello specifico, dal registro sedimentario (Fig. 8.11) si evince che le statocisti prive di ornamentazioni o con una ornamentazione semplice sono risultate le più abbondanti e frequenti; in particolare la n° 1 (semplice, priva di collare e di ornamentazioni e che viene prodotta da due specie di *Paraphysomonas*) e, a seguire le n° 116 A e B (prodotte da *Dinobryon* sp.), la n° 100, la n° 336, la n° 371, la n° 9 (prodotta da *Chrysolepidomonas dendrolepidota* ed altre specie) e la n° 179 (prodotta da *Chrysidiastrum catenatum*). Queste cisti sono state associate a specie indifferenti o tolleranti per un vasto range di condizioni ambientali (pH, temperatura, trofia), la loro presenza quindi non fornisce informazioni sull'evoluzione di questo lago.

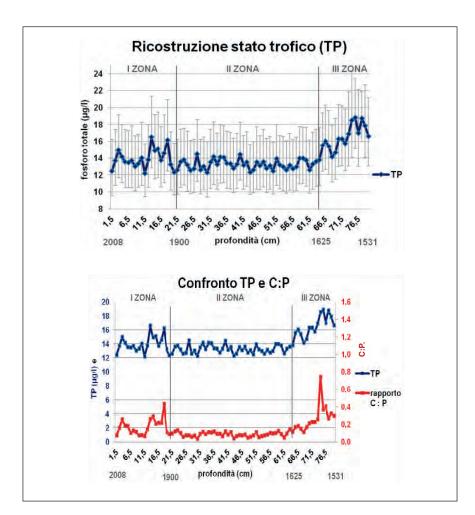


Fig. 8.8 Valori di fosforo totale (TP) ricostruiti lungo la carota COL 10/2 in alto. In basso valori di TP mediante il metodo delle medie ponderate (sx) e loro confronto col rapporto percentuale tra diatomee centriche e pennate (dx). Da Zannoni, 2012.

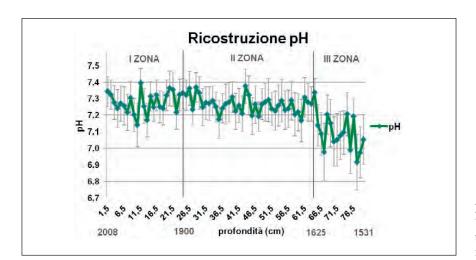


Fig. 8.9 Valori di pH ricostruiti lungo la carota COL 10/2 mediante il metodo delle medie ponderate. Da Zannoni, 2012.

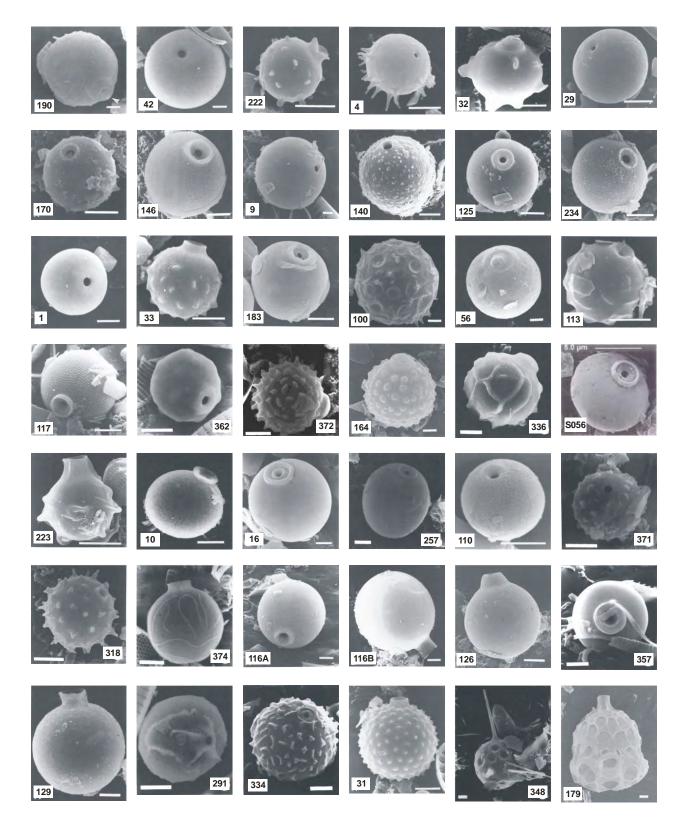


Fig. 8.10 Immagini al SEM delle statocisti presenti nei sedimenti del Lago CI con abbondanza relativa maggiore del 5%. Immagini modificate da Duff  $\it et al.$  (1995), Wilkinson  $\it et al.$  (2001), barra di scala  $\it 2\mu m.$  Ciste S056 modificata da Pla (2001), barra di scala  $\it 5 \mu m.$ 

Va detto però che molte di queste cisti sono state associate a gruppi o categorie algali comprendenti specie con esigenze ecologiche diverse o ignote e questo potrebbe giustificare il loro scarso valore informativo.

Tuttavia, osservando il diagramma, è possibile notare una successione di morfotipi, con cisti che scompaiono intorno al 1660 (le n°140, 374, 222), altre che si ritrovano solo nei due secoli successivi (le n° 183, S056, 42 357, 126, 318, 129, 190, 223), delineando un altro e più evidente orizzonte di cambiamento intorno al 1900, quando oltre alla comparsa di nuove statocisti (le n°56, 334, 113, 164, 33, 362, 348, 257, 29, 372), si evidenzia un brusco calo delle n°1, 116° e 116 B.

Questi orizzonti di cambiamento sembrano coincidere con quelli, seppur di piccola entità, rilevati nei profili dei valori di pH e ancor più di fosforo ricostruiti utilizzando le diatomee; tuttavia senza una completa conoscenza dell'ecologia delle statocisti queste argomentazioni resteranno puramente speculative.

Purtroppo, la mancanza di un metodo universale di classificazione e di elaborazione dei dati, unito al fatto che solo una piccola parte delle statocisti identificate presenta una determinata affinità biologica, ancora una volta sono risultati fattori limitanti l'utilizzo delle statocisti nelle analisi paleolimnologiche.

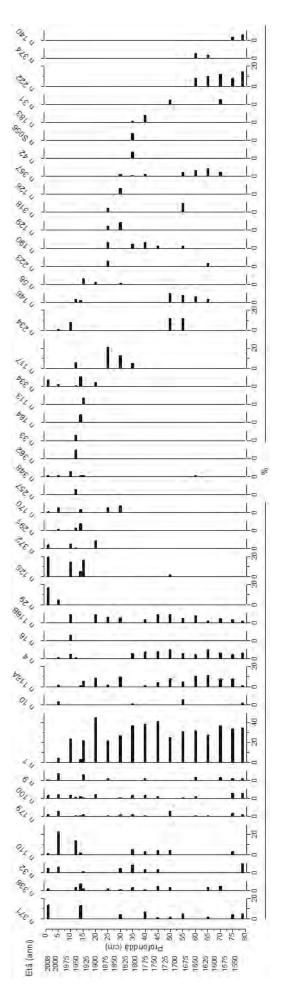
## Carota lunga

Il registro sedimentario della carota lunga 361 cm prelevata nel Lago CI copre gli ultimi 13000 anni (yr cal B.P.) e i principali cambiamenti osservati nelle biocenosi algali corrispondono ai grandi cambiamenti climatici occorsi durante l'Olocene e descritti da Pini *et al.* (2016).

Il diagramma stratigrafico in figura 8.12a illustra l'evoluzione temporale delle specie più significative (% >3) di diatomee e dei principali gruppi algali, rappresentati dai loro carotenoidi specifici (Fig. 8.12b).

Nella parte più antica del sedimento, la comunità a diatomee è dominata dalle piccole fragilariacee bentoniche, in particolare *Tabularia fasciculata* e *Staurosira microstria*-

**Fig. 8.11** Profilo stratigrafico dei 42 morfotipi con abbondanza del > 5%. Modificato da Bari, 2013.



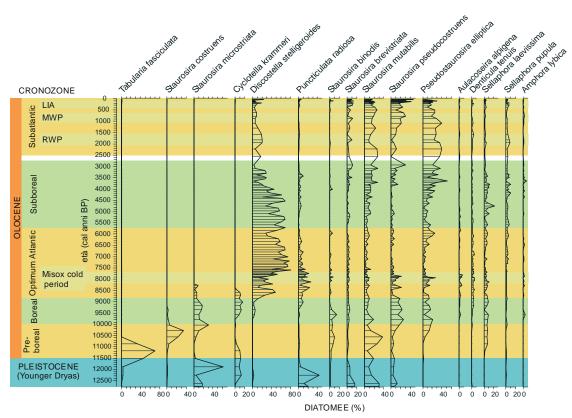


Fig 8.12a
Diagramma stratigrafico dei resti di diatomee nella carota lunga. Sono evidenziate a sx le cronozone e i principali eventi climatici succedutisi durante l'Olocene.

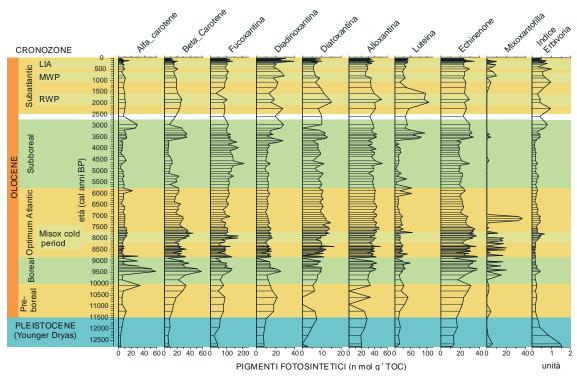


Fig 8.12b Diagramma stratigrafico dei pigmenti algali nella carota lunga. Sono evidenziate a sx le cronozone e i principali eventi climatici succedutisi durante l'Olocene (modificato da Trevisan *et al.*, 2017).

ta che indicano forti fluttuazioni di livello, forte moto ondoso, variazioni di pressione, alto contenuto elettrolitico. La sola specie planctonica, ma litorale, è *Cyclotella Krammeri*. Successivamente avviene un deciso cambiamento che può essere associato al passaggio tra la fase climatica fredda (*Younger Drias*) alla fine del Pleistocene e la fase più calda cui si fa iniziare l'Olocene (Pre-boreal) e che prosegue fino al raggiungimento dell'ottimo climatico (8400-3500 anni cal B.P.).

Durante il periodo di transizione (10000-7500 anni cal B.P.) la composizione dei carotenoidi evidenzia un aumento dell'importanza dei cianobatteri (Echinenone e myxoxantophilla). In questo periodo si segnalano anche un aumento della frequenza di incendi (Leys *et al.*, 2014) e il primo insediamento attorno al Lago di Colbricon (Fig. 8.13). Lo sviluppo permanente di foreste miste di conifere è consistente con il miglioramento climatico che ha caratterizzato l'inizio dell'Olocene. Tale biocenosi è rimasta immutata fino ai giorni nostri ad eccezione di due momenti caratterizzati da un ridotto ritrovamento di macroresti. Il primo corrisponde al ben documentato "mixod cold period" (8200 B.P) caratterizzato da un raffreddamento climatico; il secondo è avvenuto nella seconda metà dell'Olocene (5000-2700 B.P.), quando la presenza e l'attività umana nel territorio sono diventate consistenti.

Lungo l'Ottimo Climatico (Ottimo Atlantico, 8400-5100 B.P.), definito come il periodo più caldo e più umido, i pigmenti algali sono piuttosto stabili. Le specie algali dominanti, definite dalla loro composizione pigmentaria, sono diatomee (fucoxantina, diatoxantina, diadinoxantina) e criptopfite (alloxantina); quest'ultimo gruppo è di solito associato ad un livello di acqua alto e stabile. I pigmenti dei cianobatteri sono relativamente bassi. In questo periodo, anche il consumo da parte dello zooplancton è abbastanza alto, come documentato dall'indice di grazing (valore basso corrisponde ad un'alta pressione di pascolo). La tafocenosi a diatomee è dominata da Discostella stelligeroides una specie planctonica e pelagica tipica di acque oligo-mesotrofiche, indicatrice di aumento di livello e stabilizzazione della colonna d'acqua. La presenza delle quattro conifere (Pinus mugo, Larix decidua, Picea abies, Pinus cembra) si consolida e rimane costante fino ai giorni nostri. La presenza dell'uomo nella regione è ancora sporadica trattandosi di popolazioni nomadi dedite alla caccia. La frequenza degli incendi è bassa, probabilmente grazie alla concomitante presenza di un clima umido e di P. mugo che ha la peculiarità di trattenere umidità a livello del terreno.

A ca. 3500 anni B.P., ha inizio una nuova fase più fredda, con uno spostamento della composizione diatomica verso una diminuzione di *Discostella stelligeroides* e un aumento delle piccole fragilariacee bentoniche (*Staurosira* e *Pseudostaurosira* spp), definite «post glacial pioneers», queste ultime sono comuni in laghi con prolungata copertura glaciale. Inoltre a questo livello si osserva un aumento generale dei carotenoidi, in particolare luteina (prodotta dalla vegetazione terrestre), ma anche un cambiamento

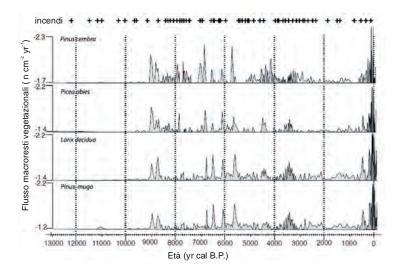


Fig 8.13 Ricostruzione degli eventi incendiari e della vegetazione nell'area del Lago di Colbricon (modificato da Leys *et al.*, 2014).

nel rapporto CD:TC. Ciò suggerisce, più che un aumento della produttività lacustre, un cambiamento nelle condizioni di conservazione dei pigmenti, dovuto a diminuzione di temperatura dell'acqua e copertura di ghiaccio più estesa nei mesi invernali, condizioni associate al peggioramento del clima.

Questa fase relativamente più fredda mostra un breve periodo di interruzione in coincidenza con il periodo romano (RWP) in cui sia le diatomee sia i pigmenti suggeriscono una fase più produttiva con un aumento di *D. stelligeroides* e, tra i pigmenti, diadinoxantina e diatoxantina, alloxantina

e luteina hanno un picco in questo periodo. Tra il 3900 e 2200 (BP) l'analisi dei macroresti non segnala variazioni della copertura boschiva mentre l'analisi delle particelle carboniose documenta un nuovo aumento della frequenza degli incendi. Questo aumento, di natura non stocastica, potrebbe risultare da fattori esterni non legati al clima o alla componente vegetazionale ma all'utilizzo antropico del territorio.

Dal 2000 cal B.P. il lago sembra piuttosto stabile, come già evidenziato nello studio sulla carota corta, non risultano variazioni in corrispondenza dei periodi climatici noti come Periodo Caldo Medievale (MWP) e Piccola Età Glaciale (LIA). La comunità a diatomee è dominata da diverse specie di *Staurosira* e *Pasudostaurosira*. Ed anche il pool pigmentario non indica particolari variazioni a parte l'aumento di myxoxantophilla che segna un aumento dei cianobatteri nella fase più recente, probabilmente legato al rapido aumento delle temperature registrato nell'ultimo ventennio.

## Conclusioni

L'analisi stratigrafica ha permesso di individuare gli effetti dei principali cambiamenti climatici e dell'attività umana sull'ecosistema lacustre e sulla vegetazione circostante.

Le diatomee rispondono più chiaramente ai principali eventi climatici rispetto ai pigmenti fotosintetici. La risposta di questi ultimi sembra invece più legata ai cambiamenti che avvengono nel bacino imbrifero quali un'iniziale attività umana nella regione.

Tuttavia, in questo lago, entrambi i proxy-records sembrano rispondere alle forzanti climatiche con diversa intensità: una risposta più forte nella parte inferiore della carota quando il lago (e il suo bacino) è nel suo sviluppo iniziale, una risposta più debole quando il sistema è più "maturo".

## **Paleopalinologia**

A. Miola, C.Poggi

Polline e spore sono unità cellulari legate alla riproduzione sessuale delle piante terrestri: il primo è prodotto da tutte le piante a seme (Spermatofite), mentre le seconde sono prodotte dalle Pteridofite, cioè felci, licopodi ed equiseti.

La dispersione del polline e delle spore è affidata, per la maggior parte delle piante, al vento. Nell'atmosfera i granuli pollinici prodotti da piante di una data specie possono rimanere in sospensione per un tempo più o meno lungo, a seconda delle condizioni atmosferiche, della forma e peso dei granuli. Mescolatisi con quelli delle altre specie viventi nella stessa regione, i granuli cadono, infine, a terra sotto forma di pioggia pollinica, che si distribuisce con una certa uniformità su di un'area abbastanza vasta.

I granuli pollinici e le spore sono dotate di un rivestimento esterno, l'esina, costituito da polimeri di carotenoidi, le sporopollenine, che sono fra le sostanze più resistenti nel mondo organico; questo spiega la conservazione del polline fossile anche per milioni di anni. L'unico "nemico" delle sporopollenine è l'ossigeno, elemento fondamentale per la vita dei microrganismi in grado di degradare e distruggere polline e spore. Per tale motivo la possibilità di conservazione del polline della pioggia pollinica è pressoché nulla se esso cade sul suolo, dove viene infatti rapidamente demolito dall'ossidazione e dalla fauna pedologica. Se cade sui corpi idrici esso ha invece una buona possibilità di conservazione.

L'involucro esterno dell'esina presenta caratteristiche morfologiche (pori, solchi) e strutturali molto peculiari. Sono queste forme e ornamentazioni specializzate e complesse a rendere possibile l'attribuzione del polline alla specie, genere o tipo pollinico che lo ha prodotto (Fig. 8.14).

I sedimenti sul fondo di specchi d'acqua, paludi o torbiere inglobano, anno dopo anno, le piogge polliniche di migliaia di anni e proprio da questo tipo di ambienti si è sviluppata, fin dall'inizio del '900, la ricerca palinologica come una delle prime branche della ricerca paleoambientale. Infatti la pioggia pollinica ha una composizione floristica percentuale che rispecchia abbastanza fedelmente la vegetazione esistente in una determinata regione (Huntley & Birks, 1983). Pertanto le successioni di sedimenti costituiscono archivi, ordinati cronologicamente, dei resti delle piante vissute in un periodo antico quanto il deposito e risultano utili per testimoniare le associazioni di piante del passato e le trasformazioni che il paesaggio ha subito, determinate in gran parte dai cambiamenti climatici e più recentemente dalle attività umane.

Questo è il punto focale dell'indagine palinologica e palinostratigrafica, che si pone come fine quello di ricostruire, attraverso le testimonianze polliniche fossili, la storia vegetazionale e climatica di un sito o di una

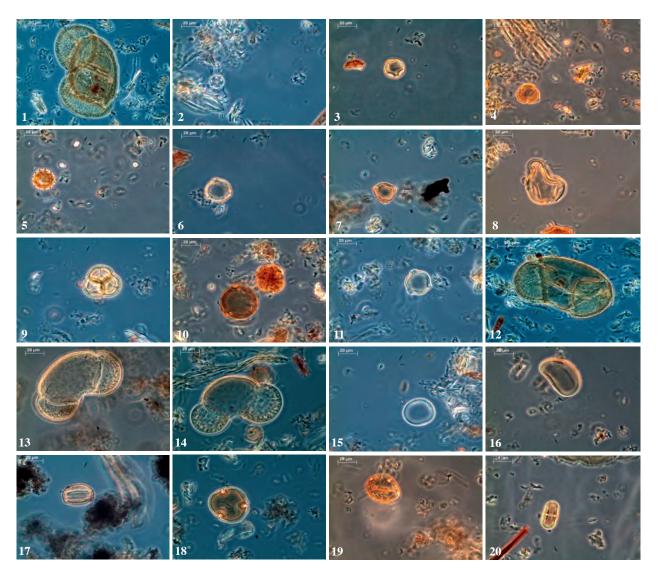


Fig. 8.14 Immagini dalla palinoteca del Laboratorio di Palinologia (dott. A. Miola) Dip. di Biologia Padova: (1) Abies alba, (2) Alisma group, (3) Alnus, (4) Artemisia, (5) Asteraceae anthemis type, (6) Betula, (7) Corylus, (8) Cyperaceae, (9) Ericaceae empetrum group, (10) Fagus, (11) Ostrya, (12) Picea, (13) Pinus cembra, (14) Pinus sylvestris-mugo, (15) Poaceae, (16) Polydodiaceae, (17) Quercus type, (18) Tilia, (19) Ulmus, (20) Umbelliferae

regione. Negli studi che si occupano di ricostruzioni paleoclimatichepaleoambientali è estremamente importante avere un quadro cronologico preciso per l'archivio studiato, in modo da poter collocare nel tempo la serie studiata e poterla confrontare con altre.

Tra i metodi di datazione più comunemente usati in sedimenti di origine lacustre vi sono le misure dei radionuclidi a vita breve (137Cs, 210Pb) e del radiocarbonio (14C); questi metodi consentono di datare sedimenti deposti fino a circa 200-400 e 50000 anni prima di adesso (BP), rispettivamente. Essi si basano sul confronto tra il contenuto residuo degli isotopi instabili nel sedimento rispetto al contenuto degli stessi isotopi nell'atmosfera, che si assume sia rimasto stabile nel tempo. Con il procedere delle ricerche in questo campo è però emerso che il contenuto atmosferico degli isotopi instabili, in particolare del 14C, è fluttuato nel tempo e quindi ogni datazione deve essere calibrata sulla base di misure indipendenti del contenuto atmosferico in 14C, eseguite, ad esempio, negli anelli di accrescimento del legno negli alberi (Lowe & Walker, 1997).

L'analisi pollinica, associata alla datazione dei sedimenti, costituisce uno dei metodi più utili per ricostruire la storia della vegetazione. I sedimenti prelevati dal fondo del Lago CI sono stati studiati utilizzando questo metodo, per ricostruire la storia della vegetazione di alta quota e la sua reazione ai cambiamenti climatici avvenuti dopo la fine dell'ultima glaciazione (circa dopo 13000 anni BP). Questa parte di storia naturale è molto ben conosciuta per tutto il settore delle Alpi centrali (Pini, 2002), molto meno per il territorio trentino. Mancano, infatti, studi su depositi di sedimenti che coprano l'intero periodo intercorso tra la fine dell'ultima glaciazione e i giorni nostri e che siano dotati di un robusto inquadramento cronologico, basato su dati indipendenti. La possibilità di studiare questa parte della storia naturale della regione riveste quindi una particolare importanza. Le reazioni della vegetazione alle oscillazioni climatiche avvenute nell'ultimo periodo della storia della Terra sono quelle che più vengono utilizzate per immaginare gli scenari ambientali che si prospettano per il futuro.

## Vegetazione attuale dell'area di studio

La copertura vegetale del bacino imbrifero dei Laghi di Colbricon è strettamente influenzata dal clima boreale alpino proprio della regione. Pertanto i fattori limitanti per essa sono la quota e la temperatura, da cui deriva il periodo di gelo che attualmente è di 4-6 mesi (ISMA, 1996; Trevisan & Rosso, 2001).

Il paesaggio circostante i Laghi di Colbricon è oggi caratterizzato da boschi di conifere subalpini su terreni silicatici, in cui predomina l'abete rosso (*Picea abies* (L.) H.Karst), misto al larice (*Larix decidua* Mill.) e al pino

cembro (*Pinus cembra* L.). La "pecceta" inizia in basso con il limite dei pascoli di fondovalle (800-1000 m s.l.m.) e si estende in alto fino al limite della vegetazione forestale (1800-1900 m s.l.m.) dove si trovano anche i laghetti alpini d'alta quota. Salendo in altitudine, oltre i 1800 m s.l.m. fino ai 2200 m s.l.m., lo strato arboreo è costituito in prevalenza dal larice e dal pino cembro, in una sorta di prateria alberata che si dirada e lascia il posto a singoli alberi, relativamente giovani e di piccole dimensioni.

Sia nel rado sottobosco, a larice e pino cembro, che al di sopra del limite della vegetazione forestale, nella cosiddetta "tundra alpina", sono presenti arbusti e cespuglieti nani di rododendri (*Rhododendron ferrugineum* L.), ginepri (*Juniperus communis* L.), calluna (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), mirtillo rosso (*Vaccinium vitis-idaea* L.) (Festi & Prosser, 2000).

Sui versanti e sulle rive dei laghi crescono l'ontano verde (*Alnus viridis* Ehrh.) e il pino mugo (*Pinus mugo* Turra). Attorno ai laghi, in particolare sul margine sud-est del Lago CI, sono presenti aree a torbiera ricche di sfagni (*Sphagnum*) o muschi delle torbiere.

Si ringrazia la Dott. Mariacristina Villani del CENTRO DI ATENEO "ORTO BOTANICO" dell'Università di PADOVA per la revisione del capitoletto sulla vegetazione attuale.

## Materiali e metodi

L'analisi pollinica è stata eseguita sulla carota di sedimenti lunga 361 cm prelevata nel punto più profondo (6,3 m) del Lago CI, durante la campagna di campionamento descritta nel capitolo 8.3.

La qualità del sedimento – argilla organica – è stata ampiamente studiata attraverso misure geofisiche e geochimiche (vedi cap 2) e si è rivelata particolarmente adatta ad una buona conservazione delle associazioni fossili di polline e spore, oltre che delle associazioni algali (vedi cap 7).

La sequenza è stata datata sulla base di misure dei radionuclidi <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs eseguite presso l'Università di Liverpool (UK) e sulla base di 10 misure AMS di <sup>14</sup>C su semi e aghi di *Larix* e di *Pinus mugo* o su campioni di sedimento, eseguite presso il LMC14 lab (France). Queste ultime sono state calibrate sulla base del database IntCal13. Il modello age-depth elaborato da Leys *et al.* (2014), inquadra la sequenza in un periodo cronologico che inizia 13749-13537 anni calibrati prima di adesso (anni cal BP) e copre tutto il periodo che dalla fine del Pleistocene arriva ai giorni nostri, esattamente l'ultima parte del Tardoglaciale (12800-11500 anni cal BP) e gran parte dell'Olocene (11500-2000 anni cal BP).

In Fig. 8.14 è riportata la curva età-profondità e selezione campioni per analisi pollinica (modificato da Leys *et al.* 2014).

I campioni per l'analisi pollinica sono stati selezionati secondo intervalli temporali omogenei, corrispondenti a periodi di circa 850 anni, sulla base

della curva età-profondità. Sono stati così individuati 15 campioni di 1 cm di spessore alle seguenti profondità: 83, 95, 123, 163, 189, 208, 231, 266, 299, 324, 337, 344, 352, 355, 356 cm.

I campioni sono stati sottoposti a trattamento chimico e fisico per eliminare la matrice organica ed inorganica del sedimento e concentrare polline, spore ed altri palinomorfi.

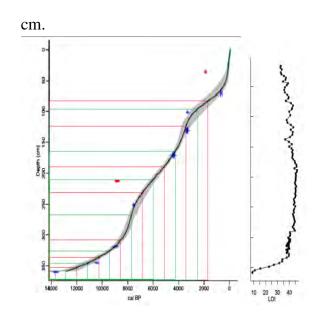
Considerando la tessitura e la tipologia di sedimento (prevalentemente argilla organica), è stato applicato un protocollo di trattamento, che prevede l'utilizzo dei seguenti reagenti: HCl per la dissoluzione dei carbonati, NaOH per l'eliminazione della materia organica, HF per la rimozione dei silicati, ed infine acetolisi con anidride acetica e acido solforico. Il protocollo utilizzato è frutto di varie modifiche di un protocollo standard (Faegri & Iversen, 1989; Erdtman, 1969); la durata della procedura di estrazione è di 5 giorni. Durante il trattamento, sono state aggiunte ad ogni campione due pastiglie di *Lycopodium* per il calcolo delle frequenze polliniche assolute. Ai residui del trattamento sono state addizionate alcune gocce di glicerolo come mezzo di montaggio per l'osservazione al microscopio ottico.

I campioni, fissati in modo semi-permanente su vetrini da microscopia, sono stati osservati al microscopio ottico in contrasto di fase, con ingrandimento 400x, per l'identificazione ed il conteggio dei granuli pollinici. Per l'identificazione e la nomenclatura sono state utilizzate chiavi dicotomiche e atlanti (Moore *et al.*, 1991; Beug, 2004; Reille, 1992, 1998), oltre alla palinoteca del Laboratorio di Palinologia del Dip. di Biologia (Università di Padova). Per la distinzione al microscopio ottico dei granuli pollinici bisaccati di *Pinus*, sono stati considerati, quali caratteri diagno-

stici, le dimensioni dell'attacco dei sacchi al corpo, l'ampiezza dell'angolo formato tra la sacca ed il corpo e la presenza di verruche nella porzione distale del corpo o leptoma (Accorsi *et al.*, 1978; Moore *et al.*, 1991; Beug, 2004; Zanni & Ravazzi, 2007). Sulla base di questi caratteri sono stati riconosciuti granuli appartenenti ai due gruppi palinologici: *Pinus haploxylon* type, comprendente la specie *Pinus cembra*, e *Pinus sylvestris* type, che include le specie *Pinus mugo*, *Pinus sylvestris* e altre specie non distribuite nelle Alpi orientali.

Per il conteggio dei granuli pollinici i vetrini sono stati esaminati al microscopio lungo transetti, in modo da coprire l'intera area del vetrino copri-oggetto e raggiungere una somma palinologica di almeno 500 granuli di polline e spore per campione; hanno fatto eccezione i campioni di 95 cm, 266 cm, e 326 cm di profondità nei quali, per l'elevata diluizione

Fig. 8.14 Curva età-profondità e selezione campioni per analisi pollinica (modificato da Leys *et al.* 2014).



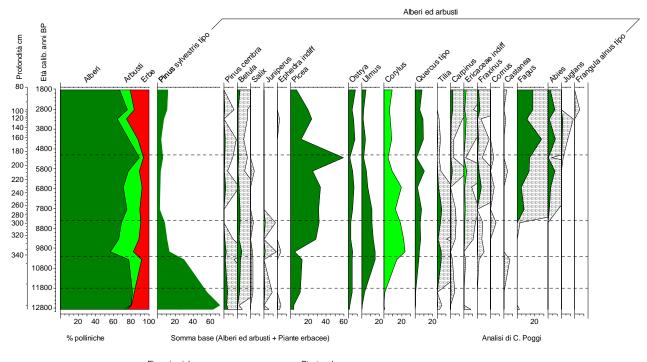
dell'estratto, sono stati conteggiati rispettivamente 449, 448 e 301 palinomorfi totali.

I granuli pollinici deteriorati o rotti dei generi Pinus e Picea sono stati contati separatamente rispetto a quelli interi e non inseriti nella somma pollinica. La loro origine è infatti incerta (dilavamento del suolo, rimaneggiamento, centrifugazione durante il trattamento di estrazione in laboratorio) e per questo motivo si preferisce non considerarli nell'analisi dei dati. I dati di conteggio dei granuli pollinici sono stati elaborati sotto forma di percentuali dei taxa e tipi pollinici rispetto alla somma pollinica totale calcolata per ogni livello esaminato. La somma pollinica totale comprende i conteggi di tutte le specie arboree, arbustive ed erbacee; sono esclusi dalla somma, cioè dal calcolo dei valori percentuali, i conteggi delle piante acquatiche, palustri di ambienti umidi e delle spore di pteridofite. Le loro percentuali sono state comunque calcolate, sulla base della somma totale addizionata del loro contributo, come indicato alla base del diagramma pollinico (Fig. 8.14). Gli stessi dati di conteggio sono stati anche utilizzati per calcolare le concentrazioni polliniche nell'unità di peso di sedimento essiccato. I risultati per i taxa più abbondanti e significativi sono rappresentati nel diagramma di Fig. 8.15. Per l'elaborazione dei dati e la realizzazione dei grafici è stato utilizzato il software TILIA version 1.7.16 (Grimm, 2004). All'interno dei grafici i taxa sono divisi per grandi gruppi ecologici, raffigurati con diversi colori, ed all'interno di questi raggruppamenti sono disposti in ordine cronologico di comparsa o di maggiore diffusione.

## Risultati e interpretazione ambientale

I campioni sono risultati ricchi di materiale pollinico e in buono stato di conservazione. Ciò ha reso possibile un'analisi approfondita dei tipi pollinici presenti e l'individuazione di un centinaio di tipi di granuli pollinici e spore, indicando un'elevata biodiversità floristica. I granuli pollinici di specie arboree sono risultati complessivamente più abbondanti rispetto a quelli di specie erbacee ed arbustive, variando da un minimo di 57%, a 337 cm di profondità, ad un massimo di 89%, a 189 cm di profondità.

Nel diagramma pollinico (Fig. 8.14) sono rappresentati i risultati dei conteggi dei diversi tipi di polline e spore, trasformati in percentuali rispetto alle somme indicate alla base del diagramma stesso. Vi si può leggere a grandi tappe, dal basso verso l'alto, la storia della vegetazione che si è succeduta in un territorio di circa 1000 m di raggio attorno al lago (Broström *et al.*, 1998), nel periodo di tempo compreso tra 12800 anni e 2000 anni circa prima del presente (BP). In realtà, se questo può essere vero per un bacino collocato in un'area di pianura, la particolare posizione del Lago in area montuosa ed esposto verso il fondovalle a sud-est e verso nord-ovest, rende possibile l'afflusso verso il lago di masse d'aria



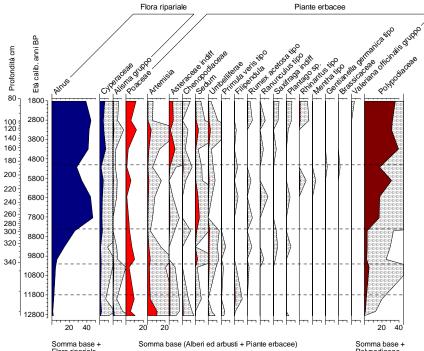


Fig. 8.14

Diagramma pollinico percentuali dei tipi pollinici e spore più abbondanti e significativi per la ricostruzione della storia della vegetazione attorno ai Laghi di Colbricon.

Il diagramma è suddiviso in zone, chiamate zone polliniche. Per ciascuna zona del diagramma verranno sottolineate le presenze polliniche più importanti e suggerita una possibile ricostruzione della vegetazione circostante il bacino. Nella descrizione della zona è anche indicata la cronozona alla quale riteniamo possa essere sommariamente attribuita. È stato seguito lo schema di suddivisione in cronozone del Tardiglaciale e dell'Olocene utilizzato da Pini et al. (2016).

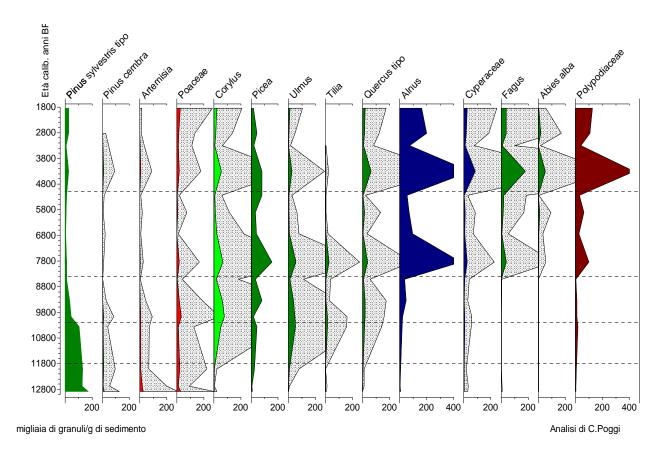


Fig. 8.15
Diagramma delle concentrazioni dei tipi pollinici e spore più abbondanti e significativi per la ricostruzione della storia della vegetazione attorno ai Laghi di Colbricon (valori espressi in migliaia di granuli/cm³ di sedimento essiccato).

provenienti da un'area di maggiore estensione. Pensiamo sia possibile che il polline prodotto dalla vegetazione che ricopriva aree ad altitudine inferiore nei due versanti verso valle possa essere stato trasportato verso il lago e qui deposto, assieme al polline prodotto dalla vegetazione circostante.

Nei livelli basali del diagramma (358-352 cm; circa 12800-11800 cal BP – Fine interstadiale di Bolling –Allerod/Dryas recente) si può osservare che il tipo pollinico più rappresentato è *Pinus sylvestris*; esso raggiunge il massimo valore percentuale di tutto il periodo (70%). E' rappresentato anche il polline di altre conifere, come il pino cembro (*Pinus cembra* <5%) e l'abete rosso (*Picea* 3,5%), oltre al polline di betulla (*Betula* <5%), seppure con bassi valori. Negli orizzonti più profondi della sequenza si nota, inoltre, la presenza molto meno abbondante di polline di efedra (*Ephedra*) e di piante erbacee (Poaceae, *Artemisia*, Chenopodiaceae e Asteraceae) che generalmente colonizzano i suoli poveri, per essere poi sostituite da arbusteti elio-xerofili, rappresentati qui dal ginepro (*Juniperus*), dalla betulla (*Betula*) e dal salice (*Salix*), e poi dalla mugheta. Il leggero aumento di alcune di esse (*Artemisia*), in corrispondenza alla diminuzione di *Pinus sylvestris*, potrebbe essere determinato

da un abbassamento di quota di questa vegetazione steppica, in seguito all'abbassamento delle temperature e dell'umidità che caratterizzano il Dryas recente, ultimo stadio climatico freddo e secco prima dell'inizio dell'Olocene. La scarsità di polline prodotto da piante erbacee acquatiche e ripariali, o comunque legate alla umidità del suolo (Cyperaceae, *Alisma* e *Alnus*), può trovare una motivazione nella stessa condizione climatica (Galka *et al.*, 2015). Anche il basso tasso di sedimentazione misurato per questo periodo (Leys *et al.*, 2014) è spiegabile in un contesto di aridità climatica: la scarsità di precipitazioni riduce l'afflusso di sedimenti al bacino e quindi il tasso di sedimentazione, che rimane su valori inferiori allo 0,05 cm/anno. Un simile andamento del tasso di sedimentazione è stato osservato anche in altri bacini del Nord Italia relativamente a questo periodo (Pini, 2002).

Il polline tipo *Pinus sylvestris* può ragionevolmente essere attribuito al pino mugo (*Pinus mugo*) e non al pino silvestre, in quanto quest'ultima specie non raggiunge l'altitudine alla quale si trova il lago e comunque non è stata identificata da Leys *et al.* (2014) tra i macroresti vegetali conservati negli stessi sedimenti analizzati per il contenuto pollinico. L'elevato valore percentuale indica una presenza locale e dominante di pino mugo nella vegetazione (Huntley & Birks, 1983). Per quanto riguarda gli altri taxa, si può immaginare che essi fossero molto meno abbondanti nella vegetazione, o addirittura, che il polline provenisse da zone limitrofe, ma a minor quota (Huntley & Birks, 1983).

Queste osservazioni e il loro confronto con altre analisi polliniche svolte recentemente in laghi delle zone montana e subalpina del Trentino (ad es. Filippi et al., 2007a; Filippi et al., 2007b), fanno ritenere che la base del diagramma rappresenti la parte finale fredda del Tardoglaciale (Dryas recente) sia per la presenza rilevante di pino mugo sia per la contemporanea presenza di xerofite, confermata dagli andamenti delle concentrazioni polliniche (Fig. 8.14). La presenza di qualche granulo di latifoglie termofile si può spiegare con la provenienza del polline da altitudini inferiori dove si erano propagate già durante l'interstadiale Bolling-Allerod e dove non erano completamente scomparse durante il Dryas recente (Ravazzi & Vescovi, 2009). Da questi risultati possiamo supporre che il paesaggio attorno ai Laghi di Colbricon alla fine del Tardoglaciale, nel Dryas recente, fosse caratterizzato da aree ricoperte da mughete, con qualche raro pino cembro e da vegetazione erbacea di ambiente arido. Significativa è la presenza costante di polline di abete rosso (Picea) fin dalla base del diagramma, e già a circa 11800 anni cal BP, cioè all'inizio dell'Olocene, supera il valore soglia indicativo della presenza locale delle piante (4% secondo Ravazzi, 2002; 1% secondo Lisitsyna et al., 2011). Lo studio dei macroresti ha rivelato in effetti la presenza di questa specie nelle strette vicinanze dei Laghi di Colbricon, sulla base del ritrovamento di alcuni resti di coni in sedimenti del lago di un'età stimata di 12440 anni cal BP (Leys *et al.*, 2014). Purtroppo, si tratta di una età stimata sulla base del modello età-profondità rappresentato in Fig. 8.14 e non di una datazione diretta del resto. Se la stima fosse corretta, a nostra conoscenza, questo potrebbe essere il ritrovamento più antico nelle Alpi orientali dopo l'Ultimo Massimo Glaciale, a testimonianza di uno stadio della colonizzazione dell'arco alpino da parte dell'abete rosso dopo il ritiro dei ghiacciai. L'abete rosso, circa 14000 anni fa, aveva già iniziato a migrare dalle aree delle Prealpi sud-orientali nelle quali si era rifugiato durante il periodo glaciale, verso nord e verso occidente, ma fu solo durante il Dryas recente ed il successivo Olocene che, avanzando verso ovest nella fascia superiore della vegetazione (1500 – 2300 m s.l.m.), colonizzò l'intero arco alpino (Ravazzi, 2002; Magri *et al.*, 2015).

Nei livelli successivi del diagramma (352-341 cm; circa 11800-10200 anni cal BP - Preboreale) l'abete rosso raggiunge una presenza percentuale del 10%. Si osserva una diminuzione della percentuale pollinica del tipo Pinus sylvestris non corrispondente ad una diminuzione della sua concentrazione (Fig. 8.14) che, anzi, continua a prevalere sulle altre componenti. Possiamo pertanto interpretare la diminuzione della percentuale pollinica del tipo *Pinus sylvestris* non tanto come una diminuzione della densità o estensione della mugheta, ma piuttosto come effetto dell'aumento di polline di abete rosso e di latifoglie termofile, Ostrya, Ulmus, Corylus, Quercus e Tilia, nella pioggia pollinica che raggiunge il lago. Il miglioramento climatico che caratterizza l'inizio dell'Olocene, si manifesta in questa analisi con l'espansione dell'abete rosso. Si deve comunque osservare che una presenza locale importante dell'abete rosso è documentata dai macroresti solo attorno ai 9000 anni cal BP. Per quanto riguarda la componente termofila del diagramma, si deve sottolineare che la foresta di latifoglie termofile nella zona pedemontana e collinare aveva subito una diminuzione della sua densità a causa del peggioramento del clima corrispondente al Dryas recente (Ravazzi et al., 2007). Il successivo miglioramento climatico determinò una sua nuova espansione nella zona pedemontana, dove si assiste ad una veloce risalita in quota del bosco termofilo, fino a raggiungere i 1500 m s.l.m. in poche centinaia di anni (Vescovi et al., 2007). L'apporto pollinico al lago potrebbe pertanto provenire da zone a questa altitudine. Tra le latifoglie, il nocciolo (Corylus) è il taxon più abbondante. Questo arbusto si è diffuso molto velocemente all'inizio dell'Olocene in tutta Europa, tanto che alcuni studiosi hanno proposto che durante l'ultima glaciazione abbia potuto trovare rifugio in numerosi siti sparsi in tutta l'Europa e da questi abbia potuto velocemente espandersi nei territori circostanti con il miglioramento climatico olocenico. Secondo altri autori, invece, il nocciolo avrebbe superato l'ultimo periodo glaciale in pochi rifugi (forse quattro in Europa tra cui la pianura padana centrale) e da questi sarebbe migrato in tutta Europa molto velocemente (Huntley & Birks, 1983). Il nocciolo si sviluppa all'interno di diverse formazioni forestali, nelle foreste termofile mediterranee quando non si sviluppano in condizioni di estrema aridità, nelle foreste miste decidue nelle Prealpi, ed anche nelle peccete al loro limite altitudinale più basso. In questo periodo, nelle Prealpi nord-orientali la presenza del nocciolo è documentata da percentuali polliniche che aumentano da valori di 5-10% fino a valori di 10-30% (Magri et al., 2015). Non è però stato segnalato nelle sequenze polliniche della foresta di Paneveggio, a nord del Passo Colbricon, studiate da Braggio Morucchio et al. (1986), pertanto l'origine della pioggia pollinica che ha raggiunto il Lago CI poteva trovarsi nella parte più bassa delle peccete che si espandevano nel versante a sud del Passo, verso San Martino di Castrozza. Infine si sottolinea la presenza di rari granuli pollinici di castagno (Castanea), che conferma quanto già osservato da Braggio Morucchio et al. (1986) riguardo la sopravvivenza di questa latifoglia in Italia settentrionale durante l'ultima glaciazione e forse proprio anche sui versanti esposti a Sud di questo territorio (vedi anche Paganelli & Miola, 1991).

A partire dalla profondità di 340 cm circa (341-295 cm; 10200-8400 anni cal BP - Boreale), la concentrazione di Pinus sylvestris diminuisce in modo consistente, diminuisce anche il pino cembro, mentre si affermano l'abete rosso (30-35%) e gli elementi dei boschi termofili, tra i quali il nocciolo raggiunge il suo valore massimo. Inizia l'espansione dell'ontano (Alnus), che raggiunge valori percentuali indicatori della sua presenza come specie dominante della vegetazione locale. Nonostante l'osservazione microscopica non ne permetta la determinazione della specie, si può supporre, data la natura silicea del substrato, che si tratti di ontano verde (Alnus viridis), specie tutt'oggi presente nella zona. L'espansione di tale specie, bene adattata alla presenza d'acqua e tollerante delle precipitazioni nevose, appare comunque legata anche all'altitudine (Pignatti, 1982). L'abete rosso si diffonde come pianta pioniera in ambienti freddi e aperti mentre il suo sviluppo viene contrastato dalla competizione con altre conifere o da condizioni di clima continentale con inverni secchi. L'arretramento della mugheta e l'aumento dell'umidità nel Boreale favorì l'insediamento dell'abete rosso e l'espansione dell'ontano verde nell'area circostante i Laghi di Colbricon, ma anche nell'attuale foresta di Paneveggio (Braggio Morucchio et al., 1986) e in altre aree montane trentine e venete (Ravazzi, 2002; Bizzarini, 2011; Magri et al., 2015; Filippi et al., 2007a, 2007b). La presenza ancora attuale di ontaneti attorno ai Laghi di Colbricon risale quindi a circa 10000 anni fa.

A partire da questo periodo si stabilizzano anche le Ericaceae che rappresentano nel diagramma pollinico la presenza locale di formazioni arbustive nane a rodoro-vaccinieti capaci di colonizzare i pendii sterili e gli affioramenti rocciosi. La vegetazione erbacea è rappresentata soprattutto da graminacee; sassifraghe e artemisie crescevano su suoli asciutti e sassosi, mentre attorno al lago crescevano ciperacee, umbellifere, primule e romici. In questo periodo, nel diagramma pollinico è registrata la presenza umana nei pressi del Lago; compaiono infatti granuli pollinici di piante erbacee che crescono in ambiente antropico (*Plantago* spp., *Ranunculus* sp., *Rumex acetosa* tipo). Quanto evidenziato trova ampia corrispondenza con i risultati delle ricerche di Bagolini *et al.* (1975) e Cattani (1984), che studiarono un insediamento mesolitico sulle sponde del Lago.

A partire dalla profondità di 295 cm circa (295-185 cm; 8400-5100 anni cal BP - Atlantico), si osserva l'affermazione del faggio (Fagus) e la comparsa dell'abete bianco (Abies). L'abete rosso si attesta su una percentuale del 40% (con una punta alla fine della zona di difficile interpretazione). Tra le piante erbacee, si osserva l'espansione delle spore di felci della famiglia delle Polypodiaceae. L'espansione di queste specie è indicatrice dell'aumento dell'umidità atmosferica, che caratterizzò l'Atlantico. Si riduce notevolmente la presenza di *Pinus sylvestris* (sia in percentuale che in concentrazione) e quindi, possiamo presumere, delle mughete. La causa di questa diminuzione potrebbe essere spiegata dal notevole incremento della frequenza di incendi osservata nel territorio circostante il Lago, a partire dall'inizio di questo periodo. Se, infatti, da 12200 a 8300 anni cal BP, il fire return interval (FRI) stimato era di 360±206 anni/incendio, nel periodo che inizia a 8300 anni cal BP e termina nel 2200 cal BP, il FRI è di 120±113 anni/incendio (Leys et al., 2014). Dall'osservazione del diagramma pollinico delle percentuali e delle concentrazioni, sembra che le mughete abbiano risentito più di altre formazioni dell'alta frequenza di incendi che colpiva il territorio; l'abete rosso, le cui parti riproduttive (coni o "pigne") si trovano ad una certa altezza da terra, e l'ontano, che ha una elevata capacità di espandersi in poco tempo tramite emissione di polloni, sono stati meno colpiti dagli effetti degli incendi, e probabilmente riprendevano più velocemente a produrre polline. E' stato suggerito che l'intensificazione degli incendi sia iniziata in corrispondenza del noto evento climatico di abbassamento della temperatura estiva e invernale e di aumento dell' umidità atmosferica, avvenuto tra 8200 e 7400 anni cal BP, che avrebbe reso la comunità subalpina meno resistente agli incendi (Leys et al., 2014). Non dovrebbe però essere sottovalutata la presenza antropica nel territorio, documentata fin dal Boreale, che potrebbe aver facilitato l'innesco di ripetuti incendi.

La prima apparizione di *Fagus* è databile a circa 8400 anni cal BP e precede di poco la prima presenza di abete bianco, come si può osservare anche nelle analisi condotte nei sedimenti del Lago di Lavarone (Filippi *et al.*, 2007a). L'aumento del faggio in questa zona delle Alpi orientali avviene precocemente rispetto a quanto segnalato per le Alpi centrali (Pini, 2002) e raggiunge percentuali dell'8% già a circa 7800 anni cal BP. Tale valore è da considerarsi abbastanza elevato sia a causa della limitata produzione pollinica rispetto ad altre entità arboree (*Picea*, ad esempio)

sia per la scarsa capacità di dispersione del suo polline (Paganelli & Bernardi, 1981). Si può presumere che la faggeta montana si stesse avvicinando alla zona del Lago coprendo i pendii a quota inferiore verso sud, avvantaggiata dall'accresciuta umidità atmosferica che ha caratterizzato l'Atlantico. Per questo periodo, non è infatti riportata l'espansione del faggio nell'area oggi occupata dalla foresta di Paneveggio, verso nord (Braggio Morucchio *et al.* 1986).

Diversamente da quanto riscontrato nel Pian di Gembro nelle Alpi centrali e nella torbiera del Vedes in Trentino, l'abete bianco si sviluppa successivamente al faggio. La sua espansione non raggiunge la quota del Lago, come indica l'assenza di macroresti di questa conifera in tutta la sequenza sedimentaria (Leys *et al.*, 2014), ma probabilmente resta ad altitudine inferiore mescolandosi al faggio.

A partire da circa 185 cm di profondità (185-80 cm; 5100-1800 anni cal BP circa - Subboreale e Subatlantico) si osserva una diminuzione del valore percentuale complessivo delle piante arboree, dovuta soprattutto alla diminuzione dell'abete rosso. Il pino mugo ricomincia invece a crescere, il faggio e l'abete bianco raggiungono i loro maggiori valori percentuali (28% e 8% rispettivamente) a circa 4300 anni cal. BP. L'ontano verde dopo una lieve flessione, forse dovuta ad una oscillazione nella umidità atmosferica, ritorna ai valori della zona inferiore. Le curve polliniche (percentuali e concentrazione) delle latifoglie termofile, Ostrya, Ulmus, Quercus, Carpinus, Fraxinus, Tilia e Carpinus, mostrano un leggero aumento dei valori nella prima parte di questa zona, per poi diminuire o addirittura azzerarsi, come nel caso del polline di tiglio, nella seconda parte. La vegetazione forestale a latifoglie pedemontana/collinare subisce in questo periodo gli effetti dell'insediamento umano e della deforestazione, che appaiono anche in questa analisi. Si osserva anche una nuova espansione delle specie erbacee, in particolare Graminaceae, ma anche Asteraceae, Sedum, Umbelliferae, Plantago, Rumex, Ranunculaceae, Saxifraga e Rhinanthus, queste ultime legate alla diffusione di pascoli di alta quota ed alla presenza dell'uomo.

## Conclusioni

Dall'analisi dei risultati è stato possibile riconoscere i cambiamenti subiti dalla vegetazione che ricopriva il territorio circostante i Laghi di Colbricon con riferimento alle variazioni climatiche del tardo Pleistocene e dell'Olocene, cambiamenti che in genere concordano con quanto emerso in studi palinologici precedenti, nel Trentino o in aree limitrofe dell'arco alpino.

In questo studio è stata evidenziata l'origine dell'attuale vegetazione e la sua evoluzione. Alla fine del Pleistocene, attorno ai 12800-11800 anni BP, il pino mugo era presente con formazioni arbustive intercalate

a rari pini cembri e a formazioni erbose. La presenza di macroresti di abete rosso già in questo periodo è confermata da una curva pollinica continua che supera il valore soglia indicativo della presenza locale della specie alla fine di questo periodo. Con il miglioramento climatico che segna l'inizio dell'Olocene (11800 anni BP), le foreste collinari prima di abete rosso e poi di latifoglie termofile si avvicinano da nord e da sud (o solo da sud per le latifoglie). Con la pioggia pollinica arriva al lago anche il polline di castagno, documentando la sopravvivenza di questa latifoglia in Italia settentrionale durante l'ultima glaciazione e forse proprio anche sui versanti esposti a Sud di questo territorio. A partire dai 10000 anni BP con l'aumento di umidità che caratterizza il Boreale, l'abete rosso comincia a prevalere sul pino mugo e l'ontano verde, ancora presente, inizia la sua espansione sul territorio circostante il Lago fino a diventare la specie dominante della vegetazione. A partire da questo periodo si stabilizzano anche le Ericaceae che suggeriscono la presenza locale di formazioni arbustive nane a rodoro-vaccinieti. In questo periodo la presenza umana nei pressi del Lago è registrata dal polline di piante erbacee che crescono in ambiente antropico (Plantago spp., Ranunculus sp., Rumex acetosa tipo). A partire da 8400 anni BP la pecceta si sostituisce al popolamento di pino mugo indebolito dall'intensificarsi di incendi forse causati dalla presenza umana nel territorio. La prima apparizione di Fagus è databile a circa 8400 anni cal BP, la sua espansione in questa zona delle Alpi orientali, avviene precocemente rispetto a quanto segnalato per le Alpi centrali e raggiunge percentuali dell'8% già a circa 7800 anni cal BP. Si presume che la faggeta montana, si stesse avvicinando alla zona del Lago coprendo i pendii a quota inferiore verso sud, avvantaggiata dall'accresciuta umidità atmosferica che caratterizzò l'Atlantico. Diversamente da quanto riscontrato nel Pian di Gembro nelle Alpi centrali e nella torbiera del Vedes in Trentino, l'abete bianco si sviluppa successivamente al faggio. La sua espansione non raggiunge la quota del Lago, ma probabilmente resta ad altitudine inferiore mescolandosi al faggio. Nell'ultima zona del diagramma, a partire dai 5100 anni BP, la pecceta si dirada mentre l'ontano verde mantiene il suo ruolo dominante. Nelle aree a quote inferiori a circa 4300 anni BP il faggio e l'abete bianco raggiungono la loro maggiore espansione. La vegetazione forestale a latifoglie pedemontana/collinare inizialmente cresce ma presto subisce gli effetti dell'insediamento umano e della deforestazione, che appaiono anche in questa analisi. Si osserva anche una nuova espansione delle specie erbacee, in particolare Graminaceae, ma anche Asteraceae, Sedum, Umbelliferae, Plantago, Rumex, Ranunculaceae, Saxifraga e Rhinanthus, queste ultime legate alla diffusione di pascoli di alta quota ed alla presenza dell'uomo.

## **Conclusioni**

I Laghi di Colbricon, per la loro valenza naturalistica, fanno parte della Rete ecologica europea "Natura 2000", sono BIOTOPI compresi all'interno del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino. La zona attorno ai Laghi di Colbricon è stata preservata e salvata dal degrado ambientale grazie alla scelta militare durante la prima Guerra Mondiale di utilizzare il varco del Rolle per la costruzione dell'importante valico stradale di Passo Rolle. I dati raccolti permettono di ipotizzare che la genesi delle conche che ospitano le acque dei due laghi non sia di origine glaciale (laghi di circo) come era stato indicato in Tomasi (1963) ed in seguito da altri autori, ma abbia una dominate influenza strutturale. E' netta, infatti, la differenza tra la forma dei due Laghi di Colbricon e quella del vicino Lago Cavallazza. Il terzo Lago di Colbricon, così lo abbiamo definito, è situato in una depressione a sud – est rispetto ai due noti Laghetti. È stato campionato, assieme agli altri, nel giugno 2016; nell' ottobre 2016 non è stato possibile analizzarlo in quanto la scarsità d'acqua l'aveva ridotto a "zona paludosa". Si può affermare, quindi, che nella piccola area compresa tra il Monte Cavallazza e il Monte Colbricon esistono quattro bacini lacustri con caratteristiche morfometriche, chimiche e biologiche molto diverse, che giustificano l'interesse posto nello studio di guesta zona. Di notevole importanza sono state le immersioni nei Laghi di Colbricon nel 1999 e nel 2018. Si è potuto documentare, con video subacquei, che il fondo dei due laghi è completamente ricoperto da uno strato di almeno 30 cm di limi, confermando quanto riportato da Stella (1931) e descritto come "limo finissimo di colore rossastro". La qualità delle acque dei due Laghi di Colbricon è stata studiata attraverso l'analisi di molti parametri chimici. I valori di pH, ad esempio, misurati nel periodo 1981-2016 hanno mostrato una variazione da 6,9 a 8,2. Quelli invece, ricostruiti dall'analisi delle diatomee della carota di sedimenti sono rimasti sempre all'interno di un intervallo minore, compreso tra 6,9 e 7,4, indicando, comunque, acque neutre - neutro-alcaline. Questo risultato si spiega con la qualità del substrato composto da rocce quarzifere non-alcaline, non coinvolte dalla dissoluzione dei carbonati. Le concentrazioni di azoto e fosforo misurate nel corso delle indagini indicano, per questi laghi, un carattere di oligo-mesotrofia (Håkanson, 1980; OECD, 1982; Trevisan et al., 2010; Trevisan et al., 2014). Le analisi batteriologiche eseguite nel 1997 e nel 2004 hanno messo in evidenza che la messa a norma dell'impianto fognario del rifugio turistico, completata nell'anno 1997, ha eliminato la dominanza delle specie di influsso antropico riscontrata nell'ottobre 1997. Le analisi più recenti hanno però messo in evidenza che la comunità microbiologica attuale è oggi caratterizzata da una insolita ricchezza di specie oleovore, imputabili alla concomitante installazione di un generatore ausiliario alimentato a gasolio. Nonostante l'aspetto sano e naturale che il lago continua a presentare e nonostante le analisi del fitoplancton e delle caratteristiche chimiche delle acque non denotassero variazioni, l'analisi microbiologica ha permesso di rilevare nel corso degli anni diversi processi in corso, quali l'eccessivo contatto antropico o lo sversamento di residui di combustione, prospettando in entrambi i casi, una diagnosi precoce di rischi di degrado e consentendo una adeguata e tempestiva soluzione dei problemi. L'antica storia del Lago CI è stata studiata attraverso una serie di indagini su una sequenza di sedimenti, prelevati dal fondo del lago con un carotaggio, che ha raggiunto 361 cm di profondità al di sotto del fondo lacustre. Questi sedimenti si sono formati in un periodo che copre gli ultimi 13000 anni e contiene le testimonianze dei principali cambiamenti nelle biocenosi algali e vegetali, avvenute con i grandi cambiamenti climatici occorsi durante questo periodo. Questi sedimenti hanno, quindi, una lunga storia da raccontare, che le indagini finora eseguite, non hanno ancora completamente svelato. L'analisi bio-stratigrafica dei sedimenti ha permesso di individuare gli effetti dei principali cambiamenti climatici e dell'attività umana sull'ecosistema lacustre e sulla vegetazione circostante. Dall'analisi dei risultati dello studio paleopalinologico è stato possibile riconoscere i cambiamenti subiti dalla vegetazione che ricopriva il territorio circostante i Laghi di Colbricon con riferimento alle variazioni climatiche del tardo Pleistocene e dell'Olocene. Alla fine del Pleistocene, 12800-11800 anni fa, il pino mugo era presente con formazioni arbustive intercalate a rari pini cembri e a formazioni erbose; all'inizio dell'Olocene (11800 anni fa) le foreste di abete rosso e di latifoglie termofile si avvicinano da nord e da sud. Con la pioggia pollinica arriva al lago anche il polline di castagno, documentando la sopravvivenza di questa latifoglia in Italia settentrionale durante l'ultima glaciazione. A partire da 10000 anni fa, con l'aumento di umidità che caratterizza il Boreale, l'abete rosso comincia a prevalere sul pino mugo e l'ontano verde inizia la sua espansione sul territorio circostante il lago fino a diventare la specie dominante della vegetazione; si stabilizzano anche le Ericaceae con formazioni arbustive nane a rodoro-vaccinieti. In questo periodo la presenza umana nei pressi del Lago è registrata dal polline di piante erbacee che crescono in ambiente antropico (Plantago spp., Ranunculus sp., Rumex acetosa tipo). Da 8400 anni fa la pecceta si sostituisce al popolamento di pino mugo. La prima apparizione di Fagus è databile a circa 8400 anni fa. L'abete bianco si sviluppa dopo il faggio; la sua espansione non raggiunge la quota del Lago, ma probabilmente resta ad altitudine inferiore mescolandosi al faggio. Circa 4300 anni fa si osserva una nuova espansione delle specie erbacee, in particolare Graminaceae, ma anche Asteraceae, Sedum, Umbelliferae, Plantago, Rumex, Ranunculaceae, Saxifraga e Rhinanthus, queste ultime legate alla diffusione di pascoli di alta quota ed alla presenza dell'uomo. La vegetazione attuale attorno ai Laghi di Colbricon è caratterizzata da boschi di conifere, in cui predomina l'abete rosso, misto al larice e al pino cembro. Sia nel rado sottobosco di larice e pino cembro, che sopra il limite della vegetazione forestale, nella cosiddetta "tundra alpina", sono presenti arbusti e cespuglieti nani di rododendri, ginepri, calluna, mirtillo rosso.

Questo libro è il frutto di 20 anni di lavoro di un gruppo di ricercatori disponibili a collaborare e interagire. Sono stati raccolti molti campioni che potranno ancora essere analizzati e tantissimi dati che si è cercato di interpretare in base alle attuali conoscenze scientifiche. Inoltre sono state collezionate, con un'accurata indagine, quasi tutte le pubblicazioni a carattere limnologico, ma anche storico, naturalistico, gestionale sui Laghi indagati. Sono ambienti carichi di storia, di fascino e fanno parte della tradizione, della cultura della montagna; nonostante l'approccio scientifico che ha improntato tutte le nostre ricerche è stato impossibile al contempo non percepire costantemente anche il senso di una magia quasi soprannaturale che continua a regnare in questi luoghi. Su di essi sono state scritte pubblicazioni di scienza ma, al di là della loro filigrana, si potrà ancora continuare a vedere e a tessere favole sotto lo sguardo silenzioso del *genius loci* che li protegge.



Manifestazione in difesa dell'area naturalistica ed archeologica di Colbricon, 30-31 agosto 2008 (Foto R. Trevisan)



## **Bibliografia**

Abdelahad N., Bazzichelli G., D'archino G., 2003. Catalogo delle Desmidiacee (Chlorophyta, Zygnematophyceae) segnalate in Italia, Scritti e Documenti dell'Acc. Naz. delle Scienze (detta dei XL), XXIX, pp. 103.

Accorsi C.A., Bandini Mazzanti M., Forlani L., 1978. *Modello di sche-de palinologiche di Pini italiani (Pinus cembra L., Pinus pinea L., Pinus sylvestris L. subsp. sylvestris L. ecotipo emiliano)*. Arch. Bot. e Biogeogr. Ital. 54 (3/4), 65-101 pp.

ADRIAN R., O'REILLY C.M., ZAGARESE H., BAINES S.B., HESSEN D.O., KELLER W., LIVINGSTONE D.M., SOMMARUGA R., STRAILE D., VAN DONK E., WEYHENMEYER G.A., WINDER M., 2009. *Lakes as sentinels of climate change*. Limnology and oceanography Europe PMC Funders 54, 2283-2297 pp., http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20396409.

AKKERMANS A.D.L., VAN ELSAS J.D., DE BRUIJN F.J., 1995. *Molecular Microbial Ecology Manual*. Kluwer Academic Publisher, 488 pp.

ALCOCER J., OSEGUERA L.A., ESCOBAR E., PERALTA L., LUGO A., 2004. *Phytoplankton biomass and water chemistry in two high-mountain tropical lakes in Central Mexico*. Arct. Antarct. Alp. Res. 36, 342-346 pp.

AMANN R.I., Ludwig W., and Schleifer K.H., 1995. *Phylogenetic Identification and In Situ Detection of Individual Microbial Cells without Cultivation*. Microbiological Reviews, 59, 143-169 pp.

Ambrosetti W. & Barbanti L., 2002. *Physical limnology of Italians Lakes*. *1. Relationship between morphometry and heat content*. Jornal of Limnology, 61, (2), 1147-157 pp.

ANAGNOSTIDIS K. & KOMARK J., 1988. *Modern approach to the classification system of Cyanophytes*. 3-Oscillatoriales. Arch. Hydrobiol. Suppl. 80 (1-4), 327-472 pp.

Anfodillo T., 2007. Cambiamenti climatici e dinamica di popolazione al limite superiore del bosco: importanza delle ricerche di lungo termine. Forest@ 4 (1): 3-5 [online] URL: http://www.sisef.it/.

ANGELI N. & TAVERNINI S., 2006. *Zooplancton* - In: Cantonati M., Tolotti M. & Lazara M., (2006) - I laghi di alta montagna del bacino del fiume Avisio (Trentino Orientale), 129-151 pp.

ANGELI N., CANTONATI M., ROSSETTI G., 2002. *Zooplancton*. In: Cantonati M., Tolotti M., Lazara M., 2002 - I laghi del Parco Adamello-Brenta Documenti del Parco, 14, 153-187pp.

APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standards Methods for the examination of water and wastewater. Am. Publ. Health Ass., Washington.

APPLEBY P. G. & OLDFIELD F., 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant supply of unsupported 210Pb to the sediment. Catena, 5, 1-8 pp.

BAGOLINI B., BARBACOVI F., CASTELLETTI L., LANZINGER M., 1972. *Colbricon* (*scavi 1973-1974*). Preistoria Alpina, 11, 201-235 pp.

Baldon S., Zancan S., Trevisan R. 2001., Analisi di Cianoprocarioti e microalghe nei sedimenti freschi del Lago Colbricon Superiore (Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino - TN) estate 1999. Atti XIV Congresso AIOL, 389-399 pp.

Baldon S., Zancan S., Trevisan R., 2000. Cianobatteri e microalghe nei sedimenti del Lago Colbricon Superiore (Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino - TN). Atti XIV Congresso AIOL, 114 pp.

Barbanti L., De Bernardi R., Giussani G., Giulizzoni P., 1993. *Laghi*. In: Marchetti R. (ed), Ecologia applicata, Parte I, Città Studi, Milano, 70-87 pp.

BARI R., AA 2012-2013. Studio delle stomatocisti delle alghe Chrysophyceae nei sedimenti del Lago Colbricon Inferiore (Trentino). Tesi di Laurea. Università degli Studi di Padova, 147 pp.

Bari R., Zannoni M., Lami A., Musazzi S., Trevisan R., 2013. Study of Diatoms and stomatocysts of algae Chrysophyceae in the sediments of Lake Colbricon Inferiore (East Trentino), Atti Algologia SBI, 11 pp.

Barker P., Fontes J.C., Gasse F. and Druart J.C, 1994. Experimental dissolution of diatom silica in concentrated salt solutions and implications for paleoenvironmental reconstruction. Limnol. Oceanog., 39, 99-110 pp.

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J., Cameron N.G., Bennion H., 2001. *Diatoms*. In: Smol J.P., Birks H.J.B., Last W.M. (eds), Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 3: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 49-74 pp.

Berner R.A., 1992. Weathering, plants and the long-term carbon cycle. Geochim. Cosmoch. Acta, 3225-3231 pp.

Beug H.J., 2004. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. 542 pp.

BICCIATO D., ZANCAN S., BALDON S., TREVISAN R., 2001. Studio limnologico sul Lago Cavallazza: il fitoplancton nell'estate 2000 (Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino - TN). St. Trent. Scienze Naturali. Acta Biologica, 78,1-4 pp.

Birks H. & Birks H., 2006. *Multi-proxy studies in palaeolimnology*. Veg. Hist. Archaeobot., 15, 235-51 pp.

BIRKS H.J.B., LOTTER A.F., JUGGINS S., SMOL J.P., (eds) 2001. *Tracking Envornmental Change Using Lake Sediments*. Vol. 5: Data Handling and Numerical Techniques. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 673 pp.

BIZZARINI F., 2011. *I siti mesolitici dei laghetti del Colbricon. Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino*. Ed. Grafiche Antiga-Crocetta del Montello (TV), 24 pp.

BLEIKER W. & SCHANZ F., 1997. Light climate as the key factor controlling the spring bloom dynamics of phytoplankton in Lake Zürich. Aquat. Sci., 59: 135-157 pp.

Boggero A., Marchetto A., Barbieri, A. Sassi A., Conedera M., Tartari G. A. and R. Mosello, 1996. *Idrochimica dei laghi alpini del Canton Ticino (Alpi Centrali) in relazione con la chimica delle precipitazioni*. Documenta Ist. Ital. Idrobiol. 57, 1-57 pp.

Bold H.C. & Wynne M.J., 1987. *Introduction to the Algae*. Cap. 7, 395-411 pp.

Boscaini A., 2006. *Caratteristiche morfometriche*. In Cantonati M. & Lazzara M. (a cura di), *I laghi di alta montagna del bacino del Fiume Avisio (Trentino orientale)*. Museo trentino di Scineze Naturali, Trento, 13-77 pp.

Bosshard P., Santini Y., Grüter, Stettler R., Bachofen R., 1999. *Bacterial diversity and community composition in the chemocline of the meromictic alpine Lake Cadagno as revealed by 16S rDNA analysis*. FEMS Microbiology Ecology 31,173-182 pp.

BOUDOT J. & KALKAMN V., 2015. Atlas of the European dragonflies and damselflies. KNNV Publishing.

BOURELLY P., 1972, 1981, 1985, 1988. Les algues d'eau douce. Initation a la systematique. Tome I, II, III Societé Nouvelle des Editions Boubéé, Paris.

Braggio Morucchio G., Boiti I., Saffaro Boiti T., 1986. *Storia olocenica della vegetazione nella foresta di Paneveggio (Val Travignolo - Trento)*. Arch. Bot. Biogeogr. Ital., 62, 97-144 pp.

Braioni M.G. & Gelmini D., 1983. Rotiferi Monogononti (Rotatoria: Mo-

nogononta). n° 23 Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. Collana del Progetto Finalizzato "Promozione della qualità dell'ambiente". Coord. Ruffo S. C.N.R. AQ/A/A-123.

BROOK J., 1981. *The Biology of Desmids*. Botanical monographs, volume 16. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 376 pp.

Brosius J., Palmer M. L., Kennedy P. J., Noller H. F., 1978. *Complete nucleotide sequence of a 16S risomal RNA gene from Escherichia Coli*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 75, 4801-4805 pp.

BROSTRÖM A., GAILLARD M.J., IHSE M., ODGAARD B., 1998. *Pollen-landscape relationships in modern analogues of ancient cultural landscapes in southern Sweden-a first step towards quantification of vegetation openness in the past.* Vegetation History and Archaeobotany, 7, 189-201 pp.

CABRERA S., LOPEZ M. and TARTAROTTI B, 1997. *Phytoplankton and zoo-plankton response to ultraviolet radiation in a highaltitude Andean lake: Short-versus long-term effects.* J. Plankton Res. 19, 1565-1582 pp.

CALOVI F. & MATTEDI S., 1995 - Piano Faunistico del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino, 191 pp.

Cammarano P. & Manca M., 1997. Studies on zooplankton in two acidified high-mountain lakes in the Alps. Hydrobiologia 356, 97-109 pp.

Campaioli S., Ghetti P. F., Minelli A., Ruffo S., 1994; 1999. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane* - Vol. I; Vol. II - Provincia autonoma di Trento.

Cantonati M. & Lazzara M. (a cura di), 2006. *I laghi di alta montagna del fiume Avisio (Trentino orientale)*. Monografie del Museo Tridentino di Scienze Naturali, 3.

Cantonati M., Boscaini A., Corradini F., Lazzara M., 2001. *Morfometria e idrochimica di laghi d'alta quota del bacino del fiume Avisio (Trentino orientale)*. Studi Trentini di Scienze Naturali. Acta Biologica, 78, 101-116 pp.

CARTON A. & STOCH F., 2006. *Laghetti d'alta quota* - Quaderni Habitat 14 - Museo Friulano di Storia naturale 7-14 pp.

CATALAN J., 1988. Physical properties of the environment relevant to the pelagic ecosystem of a deep hig-mountain lake (Estany Redò, Central Pyrenees). Oecol. Acquat. 9, 89-123 pp.

CATALAN J., CURTIS C. J., M. KERNAN, 2009. Remote European mountain lake ecosystems: Regionalisation and ecological status. Freshwater Biol. 54: 2419-2432 pp.

Cattani L., 1984. *Il paesaggio postglaciale del Colbricon (Passo Rolle, Trento) in base alle analisi polliniche dell'insediamento mesolitico*. Preistoria Alpina - Museo Tridentino Sc.Nat. 19, 255-258 pp.

CHAO A., MA M.C., YANG M.C.K., 1993. Stopping rules and estimation for recapture debugging with unequal failure rates. Biometrika 80, 193-201 pp.

CLEGG M.R., MABERLY S.C., JONES R.I., 2007. Behavioural response as a predictor of seasonal depth distribution and vertical nicheseparation in freshwater phytoplankton flagellates. Limnol. Oceanogr. 52, 441-455 pp.

Coesel P.F.M., 1991; 1994; 1997. *De Desmidiaceeën van Nederland. Fam. Desmidiaceae*. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.

CORRADINI F. & FLAIM G. 2000. *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino* - Rapporto 1998. Istituto Agrario di S. Michele all'Adige. 94 pp.

Curtis C.J., Juggins S., Clarke G., Battarbee R. W., Kernan M., Catalan J., 2009. Regional influence of acid deposition and climate change in European mountain lakes assessed using diatom transfer functions. Freshwater Biol. 54, 2555-2572 pp.

CYR H., 1998a. Effects of wave disturbance and substrate slope on sediment characteristics in the littoral zone of small lakes. Can. J. Aquat. Sci., 55: 967-976 pp.

Cyr H., 1998b. How does the vertical distribution of chlorophyll vary in littoral sediments of small lakes? Freshwater Biology, 39: 25-26, 38-40 pp.

Dardanelli E., 2005. Immersioni in alta quota. Edizioni Olimpia. Firenze.

Dazzo F.B., Liu J., Jain A., Tang G., Gross C., Reddy C., 2009. *CME-IAS: Advanced computational tools of image analysis software designed to strengthen microscopy-based approaches for understanding microbial ecology at single-cell resolution*. Hickory Corners, MI.

DECET F., 2007. Studio della qualità delle acque dei piccoli laghi alpini. Progetto INTERREG III. Cierre Grafica, Verona.

DECET F., BURIGO R., SALMASO N., 1995. Materiali per l'idrochimica di alcuni laghi del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino ed in particolare del L. Calaita (Dolomiti, Alpi Orientali). Boll. Chim. Igien. 46: 139-163 pp.

DECET F., SALMASO N., BURIGO R., 1996. Evoluzione temporale delle caratteristiche chimiche e della comunità fitoplanctonica in un piccolo lago d'alta quota del Trentino orientale (lago Calaita). Acqua Aria, 6 (Giugno-Luglio), 587-593 pp.

Dell'Uomo A., 1991. Catalogo delle Desmidiacee (Zygophyceae) del

Trentino-Alto Adige. St. Trent. Sc. Nat., Acta Biol., 68: 149-179 pp.

Drever J.I., 1988. *The Geochemistry of natural waters*, Prentice Hall, 1988, 436 pp.

Duff K.E., Zeeb B.A. & Smol J.P., 1997. *Chrysophyte cyst biogeographical and ecological distributions: a synthesis*. Journal of Biogeography, Vol. 24, 791-812 pp.

DUFF K.E., ZEEB B.A., SMOL J.P., 1995. *Atlas of chrysophycean cysts*. Vol. I. Kluwer Academic Press, Dordrecht.

EMEP Report 2/93. S. Mylona, Trends of sulphur dioxide emissions, air concentrations and depositions of sulphur in Europe since 1880. 35 pp.

ERDTMAN G., 1969. *Handbook of Palynology. Morphology - Taxonomy - Ecology*. An Introduction to the Study of Pollen Grains and Spores. Verlag Munksgaard, Copenhagen.

FAEGRI K. & IVERSEN J., 1989. *Textbook of pollen analysis*, 4th ed. Wiley, London.

Felicetti L., 1931. *Nuovi racconti e descrizioni del Trentino*, Tip. Ed. Mutilati e Invalidi Trento.

Ferrarese U., 1990. Contributo alla conoscenza dei Chironomidi del Trentino (Diptera: Chironomidae), Studi Trent. Sci. Nat., 66, Acta Biologica, 173-185 pp.

Festi F. & Prosser F., 2000. La flora del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino, Supp. Ann. Museo Civico Rovereto, Luni Editrice 13, 438 pp.

FILIPPI GILLI E., 2017. Cambiamenti climatici: effetti sugli ambienti di alta montagna. I QUADERNI DEL PARCO. N. 13, 207 pp.

FILIPPI M. L., HEIRI O., ARPENTI E., ANGELI N., BORTOLOTTI M., LOTTER A. F., VAN DER BORG K., 2007a. Evoluzione paleoambientale dal Tardoglaciale a oggi ricostruita attraverso lo studio dei sedimenti del Lago di Lavarone (Altopiano di Folgaria e Lavarone, Trentino). Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol, 82, 279-298 pp.

FILIPPI M. L., HEIRI O., ARPENTI E., ANGELI N., BORTOLOTTI M., LOTTER A. F., & VAN DER BORG K., 2007b. *Studio paleolimnologico del Lago Nero di Cornisello (Parco Naturale Adamello-Brenta, Trentino)*. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol, 82, 261-278 pp.

FIPSAS 1994, *Manuale Federale d'immersione*. Editrice La Mandragola, Imola BO.

FIPSAS 1999, Da Dardanelli E., Programma Corso di specializzazione in Immersioni in quota.

FIPSAS, 2017. Didattica Subacquea. Tabelle d'immersione. Tabelle aria.

FOTT J., BLAZO M., STUCHLIK E. and STRUNECKY O., 1999. *Phytoplankton in three Tatra Mountain lakes of different acidification status*. J. Limnol. 58, 107-116 pp.

Freeth S.J., Kling G.W., Kusakabe M., Maley J., Tchoua F.M., Tietza K., 1990. *Conclusion for lake Nyos disaster*. Nature, 348 p.

Gabrieli J., Decet F., Luchetta A., Valt M., Pastore P., Barbante C., 2010. *Occurrence of PAH in the seasonal snowpack of Eastern Italian Alps*. Environmetal Pollution, 158, 3130-3137 pp.

Gabrieli J., 2007. *Indagine idrochimiche e sedimentologiche*. In: ARPAV, Studi della qualità delle acque dei piccoli laghi alpini. Cierre, 109-154 pp.

Galfetti A., 1999. *Il sub in acque dolci*. 4ª edizione. Edizioni Olimpia. Firenze.

GALKA M., TOBOLSKI K., BUBAK I., 2015. Late Glacial and Early Holocene lake level fluctuations in NE Poland tracked by macro-fossil, pollen and diatom records. Quaternary International, 388: 23-38 pp.

GAT J.R., 1995. *Stable Isotopes of Fresh and Saline Lakes*. In: Lerman A. Imboden D. (Eds.) Physics and Chemistry of Lakes, 2nd Ed., Springer, 139-165 pp.

GERDOL R. & TOMASELLI M., 1997. *Vegetation of wetlands in the Dolomites*. Dissertationes bonanicae, 281. Cramer: 197 pp.

GEROTTO M., DECET F., SALMASO N. 1999. *Elementi in traccia nel L. Garda*. Boll. Chim. Ig. 50: 13-18 pp.

GIUSSANI G., DE BERNARDI R., MOSELLO R., ORIGGI I., BUFFONI T., 1986. *Indagine limnologica sui laghi alpini d'alta quota*. Documenta Ist. Ital. Idrobiol. 9, 415 pp.

Good I.L., 1953. *The population frequencies of species and the estimation of population parameters.* Biometrika 40, 237-26 pp.

GRIMM E.C., 2004. *TGView 2.0.2. Illinois State Museum*. Research and Collections Centre, Springfield, USA.

Guardini R., 1963. *Unterscheidung des Christlichen, Matthias Gruenwald Verlag*. Trad. It. Fede, Religione, Esperienza. Morcelliana 1984, 150 pp.

GUILIZZONI P. & A. LAMI, 2002. *Paleolimnology: Use of Algal pigments as indicators*. In: G. Bitton (Ed.), The Encyclopedia of Environmental Microbiology, Wiley & Sons, 2306-2317 pp.

Guilizzoni P., 2004. *La paleolimnologia: una scienza al confine tra limnologia e paleontologia*. Realtà Nuova, 4, 43-62 pp.

GUILIZZONI P., 2012. *Palaeolimnology: an introduction*. In Limnology of Rivers and Lakes, (Ed. Briz Gopal), in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK: 111 pp.

Guiot J. & Corona C., ESCARSEL members, 2010. *Growing season temperatures in Europe and climate forcings over the past 1400 years.* PLOS One 5 (4), 1-15 pp.

Håkanson L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentologica approoach. Water Research 14, 975-1001 pp.

Håkanson L., 1981. *A manual of Lake Morfometry*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. pp. 78 pp.

Halac S.M., Felipe L., Camarero S., Sommaruga-Wögrath R., Psenner R., Catalan J., Sommaruga R. 1997. *An in situ enclosure experiment to test the solar UV-B impact on plankton in a high altitude lake. Lack of effect on phytoplankton composition and growth.* J. Plankton Res. 19: 1671-1687 pp.

HAMILTON-TAYLOR J. & DAVISON W., 1995. *Redox-Driven Cycling of trace Elements in Lakes*. In: Lerman A., Imboden D. (Eds.) Physics and Chemistry of Lakes, 2nd Ed., Springer, 217-263 pp.

Hansen G. & G. Flaim. 2007. *Dinoflagellates of the Trentino*. Province, Italy. J. Limnol. 66, 107-141 pp.

HARRIS G.P., 1980. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. *Mechanisms, methods, models and management.* an. J. Fish. Aquat. Sci., 3, 877-900 pp.

HARRIS G.P., 1986. *Phytoplankton Ecology: structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London, 384 pp.

HEUER H. & SMALLA K., 1997. Application of denaturing gradient gel electrophoresis fand temperature gradient gel electrophoresis for studying soil microbial communities. In van Elsas J.D., Trevors J.T., Wellington E.M.H. (Eds), Modern Soil Microbiology, Marcel Dekker, New York, 353-373 pp.

HOFMANN G., WERUM M., LANGE-BERTALOT H., 2013. *Diatomeen im Süsswasser-Benthos von Mitteleuropa*. Koeltz Scientific Books, Königstein: 908 pp.

HOLOPAINEN A.L., NIINIOJA R., RÄMÖ A., 2003. Seasonal succession, vertical distribution and long term variation of phytoplankton communities in two shallow forest lakes in eastern Finland Hydrobiologia 506, 237-245 pp.

Huber-Pestalozzi G. & Fott B., 1968. *Cryptophyceae, Chloromonadophyceae, Dinophyceae. Das Phytoplankton des Susswassers.* Die Binnengewasser. XVI, 3 (2). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 322 pp.

Huber-Pestalozzi G., 1941. *Chrysophyceen. Farblose Flagellaten Heteroconten. Das Phytoplankton des Susswassers. Die Binnengewasser.* II (1/2) E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 365 pp.

HUBER-PESTALOZZI G., 1955. Euglenophyceen. Das Phytoplankton des Susswassers. Die Binnengewasser. XVI, 4. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 606 pp.

HUNTLEY B., & BIRKS H.J.B., 1983. *An atlas of past and present pollen maps for Europe, 0-13,000 years ago.* Cambridge University Press, 688 pp.

HUTCHINSON G.E., 1957. *A Treatise on Limnology*. Vol. 1. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons, Inc., London, 1015 pp.

HUTCHINSON G.E., 1967. A treatise on limnology. Vol 2. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons, Inc., London.

IASMA, 2000. *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino* - Rapporto 1998. Istituto Italiano di San Michele all'Adige: 16-25 pp.

ISMA, 1996. *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino* - Rapporto 1995. Istituto Italiano di San Michele all'Adige: 31-36 pp.

ISMA, 1997. *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino* - Rapporto 1996. Istituto Italiano di San Michele all'Adige: 39-44 pp.

Juggins S., 2003. *C2 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation.* University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK, 69 pp.

KERNAN M., VENTURA M., BITUSÍK P., BRANCELJ A., CLARKE G., VELLE G., et al., 2009. Regionalisation of remote European mountain lake ecosystems according to their biota: Environmental versus geographical patterns. Freshwater Biol. 54, 2470-2493 pp.

Koinig K.A., Milan M., Trevisan R. and Psenner R., 2008. *Diatom frustule dissolution and ist effect on quantitative reconstructions*. Abstract book Central Eurapean Diatoom Meeting (CEDIATOM2) p. 60, Trento giugno 2008.

Koinig K.A., Schmidt R., Sommaruga-Wögrath S., Tessasdri R., Psenner R., 1998a. *Climate change as the primary cause for pH shifts in a high alpine lake*. Water, Air, and Soil Pollution, 104, 167-180 pp.

Koinig K.A., Schmidt R., Sommaruga-Wögrath S., Tessasdri R., Psen-

NER, R., 1998b. Effect of air temperature changes and acid deposition on the pH history of three high alpine lakes. In: Mayamy, S., Idei, A., Koizimi, I. (eds): Proceeding of the 14th International Diatom Symposium, 497-509 pp.

Komarek J. & Fott B., 1983. *Chlorophyceae (grunalgen) Ordnung: Chlorococcales. Das Phytoplankton des Susswasser. Die Binnengewasser.* XVI, 7(1). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1044 pp.

Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1986-1991. Süβwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae: 2 vol. 1-4. (Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D., eds). Fisher G., Stuttgart, New York. 876 + 596 + 576 + 437 pp.

LAFRANCOIS B.M., NYDICK K.R., JOHNSON B.M., BARON J.S., 2004. *Cumulative effects of nutrients and pH on the plankton of two mountain lakes*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61,1153-1165 pp.

LAIRD B.D., GONCHAROV A.B., CHAN H.M., 2013. *Body burden of metals and POP among Inuit in Canadian Arctic*. Environ. Int. 59, 33-40 pp.

Lami A. & A. Boggero, 2006. *Ecology of high altitude aquatic systems in the Alps*. Hydrobiologia 562, 246 pp.

Lange-Bertalot H., 2011a. The genus Pinnularia, vol. 1. Navicula sensu strict 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia, vol. 2. Cymbella, vol. 3. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella, vol 4. Amphora sensu lato, vol. 5. Eunotia, vol. 6. Diatoms of Europe, A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Lange-Bertalot H., 2011b. *Diatomeen im Sußwasser-Benthos von Mitteleurope*. A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Lange-Bertalot H. ed., 2000-2011. *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats: vol. 1-6.* A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell. 703 + 526 + 584 + 530 + 916 + 747 pp.

LARGAIOLLI V., 1899. *Le diatomee del Trentino. XI, XII: i laghi del Colbricon.* Riv. Tridentum, Trento, a II Fasc. 8/9, 355-357 pp.

LASEN C. & SCARIOT A. *Le macrofite* in Decet F., 2007. Studio della qualità delle acque dei piccoli laghi alpini. Progetto INTERREG III. Cierre Grafica, Verona. 155-186 pp.

LAST W.M. & SMOL J.P. (eds) 2001. *Tracking Envornmental Change Using Lake Sediments*. Vol. 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 548 pp.

Lazzara M., Lencioni V., Maiolini B., 2006. 6. *Macroinvertebrati*. In: Cantonati M. & Lazzara M., 2006 - I laghi di alta montagna del bacino del fiume Avisio (Trentino Orientale), 185-207 pp.

LEAVITT P.R. & HODGSON D.A., 2001. *15. Sedimentary pigments*. In: SMOL J.P., H.J.B. BIRKS & W.M. LAST (Eds.). Tracking environmental chance using lake sediments. Vol. 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 295–325 pp.

LENCIONI V. & MAIOLINI B., 2006. *Invertebrati: lo zoobenthos*. In: A.A.V.V. 2006 - Laghetti d'alta quota. Perle nel paesaggio di montagna. Quaderno Habitat 14, 83-99 pp.

Lencioni V., Boggero A., Marziari L., Rossaro B., 2013. *I macroinverte-brati dei laghi* - 1. Tassonomia, ecologia e metodi di studio. Quaderni del Museo di Scienze 6/1. Trento.

LEONARDI P., 1967. *Le Dolomiti, geologia dei monti tra Isarco e Piave*. Manfrini Ed. 535 pp.

LEYS B., CARCAILLET C., BLARQUEZ O., LAMI A., MUSAZZI S., TREVISAN R., 2014. Resistance mixed subalpine forest to the fire frequency changes: the ecological function of dwarf pine (Pinus mugo ssp. mugo). Quaternary Science Reviews, 90, 60-68 pp.

LISITSYNA O.V., GIESECKE T., HICKS S., 2011. *Exploring pollen percentage threshold values as an indication for the regional presence of major European trees.* Rev. Palaeobot. Palynol., 166, 311-324 pp.

Lowe J.J. and Walker M.J.C., 1997. *Reconstructing Quaternary Environments* (2nd edition) Addison Wesley Longman, Harlow, 446 pp.

MAGRI D., AGRILLO E., DI RITA F., FURLANETTO G., PINI R., RAVAZZI C., SPADA F., 2015. *Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy*. Review of Palaeobotany and Palynology, 218, 267-284 pp.

MAIOLINI B., 1992. Sulla presenza di Calanoidi in alcuni laghi alpini del Lagorai nel Trentino Occidentale (Crustacea: Copepoda). Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biologica, 67, 153-159 pp.

MARGALEF R., 1983. Limnologia. Omega S. A., Barcelona.

Martello G.V., 2006. Alcune desmidiee della zona di Caldenave e della Val d'Inferno - Massiccio montuoso dei Lagorai (Trento). Informatore Botanico Italiano 38(2): 513-536.

MASCAGNI A. & TERZANI F., 1983. *Raccolte di Odonati in Trentino-Alto Adige (Insecta: Odonata)* Studi Trent. Sci. Nat., 60, Acta Biologica, 55-65 pp.

McQuoid M.R. & Hobson L.A., 1996. *Diatom resting stages*. J. Phycol., 32: 889-902 pp.

MELCHIORRE M., 2006. La via di Schener. Un'esplorazione storica delle Alpi. Venezia, Marsilio.

Melzer A., 1999. *Aquatyc macrophytes as tools for lake management*. Hydrobiologia 395/396: 181-190 pp.

MOORE P.D., WEBB J.A., COLLINSON M.E., 1991. *Pollen analysis*, 2nd ed. Blackwell, Oxford.

MORABITO G. & TREVISAN R., 2004. Variabilità interannuale delle associazioni fitoplanctoniche in due laghi d'alta quota (Laghi Colbricon, Trentino Orientale). Atti XVI Congresso AIOL, 69 pp.

Morabito G. & Trevisan R., 2006. Fluttuazioni interannuali delle associazioni fitoplanctoniche nei laghi alpini d'alta quota in relazione alla variabilità meteorologica: il caso dei laghi Colbricon (Trentino). Atti XIV Congresso AIOL.

Morabito G., 1997. Dinamica stagionale delle comunità algali e analisi microscopica del fitoplancton. Bolettino C.I.S.B.A., 3-18 pp.

MORABITO G., 2005. Prospettive e problemi nello sviluppo di indici di qualità ecologica basati sul fitoplancton in relazione all'applicabilità della Direttiva 2000/60/CE. Biologia Ambientale, 19 (1), 71-79 pp.

MORABITO G., OGGIONI A., PANZANI P., 2003. *Phytoplankton assemblage at equilibrium in large and deep subalpine lakes: a case study from Lago Maggiore (N. Italy)*. Hydrobiologia, 502, 37-48 pp.

MORABITO G., RUGGIU D., PANZANI P., 2002. Recent dynamics (1995-1999) of the phytoplankton assemblages in Lago Maggiore as a basic tool for defining association patterns in the Italian deep lakes. J. Limnol. 61, 129-145 pp.

Morse J.W. & Mackenzie F.T., 1990. *Geochemistry of sedimentary carbonates*. Elsevier, Amsterdam, 706 pp.

Mosello R., Tartari G.A., Marchetto A., 1987. Alterazioni delle deposizioni atmosferiche ed effetti sulle acque superficiali: la situazione dell'Italia nord occidentale. Documenta Ist. Ital. Idrobiol., 14, 1-18 pp.

Mosello R., Boggero A., Marchetto A., Tartari G.A., Rogora M., 1999. Evoluzione pluriennale dell'idrochimica di due laghi alpini (Laghi Paione, Val D'Ossola) in relazione agli apporti atmosferici. Atti AIOL, 13(1), 189-201 pp.

Mosello R., Marchetto A., Decet F., 1992. Chemistry of atmosferic depo-

sition and freshwater acidification: research in Italy. Mem. Ist. ital. Idrobiol., 50, pp. 417-455 pp.

Mustoni A., 2003. Piano Faunistico del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino. Vol. 2.

MUYZER G., de WAAL, E.C., UITTERLINDEN A.G., (1993). Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient del electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. Appl. Environ. Microbiol. 59, 695-700 pp.

Mylona S., EMEP, MSC-W Report 2/93. Trends of Sulphur dioxide emissions, air concentration and deposition of Sulphur in Europe since 1880, 35 pp.

NAUWERCK A., 1994. A survey on water chemistry and plankton in high mountain lakes in northern Swedish Lapland. Hydrobiol., 274, 91-100 pp.

NÖGES P., TUVIKENE L., NÖGES T., KISAND A., 1999. *Primary production, sedimentation and resuspension in large lake shallow Lake Vörtsjarv.* Aquat. Sci. 61: 168-182 pp.

Nybakken, J.W. 1993. Marine Biology. Harper Collins, New York.

OBERTEGGER U. & SALMASO N., 2007. *La comunità zooplanctonica*. In: AR-PAV, 2007. Studio della qualità delle acque dei piccoli laghi alpini. Progetto INTERREG III. Cierre Grafica, Verona, 205-224 pp.

Odum, E.P., 1988. Ecologia. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 434 pp.

OECD, 1982. Eutrophication of Water: Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris, 154 pp.

OLSEN G. J., LARSEN N., WOESE C.R., 1991. *The ribosomal RNA Database project*. Nucleic Acids Research, Vol. 19, Supplement.

OLSEN G. J., LANE D.J., GIOVANNONI S.J., PACE N.R., STAHL D.A., 1986. *Microbial ecology and evolution: a ribosomal RNA approach*. Annu. Rev. Microbiol. 40, 337-365 pp.

ÆVREÅS L., FORNEY L., DAAE F.L., TORSVIK V., 1997. Distribution of Bacterioplancton in meromictic la ke Sælenvannet, as determined by denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified gene fragments coding for 16S rRNA. Appl. Environ. Microbiol. 63: 3367-3373 pp.

PAGANELLI A. & MIOLA A., 1991. Chestnut (Castanea sativa Mill.) as an indigenous species in northern Italy. Il Quaternario, 4, 99-106 pp.

PAGANELLI A. & BERNARDI M.A., 1981. Contributo alla storia della vegetazione e del clima nel postglaciale del Trentino. Analisi pollinica del

deposito torboso del Vedes (Val di Cembra). Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol., 58, 375-391 pp.

Paris G., 1997. Fitoplancton: cenni di sistematica, identificazione e conteggio. Bollettino C.I.S.B.A., 19-29 pp.

Partel P., Taufer G., Zorzi C., 2012. Il *Progetto di riqualificazione ambientale del Laghetto Welsperg in Val Canali (Trentino orientale)*. Abstract 2° Convegno italiano sulla riqualificazione fluviale. Bolzano, 2012.

Partel P., 2015 - La fauna vertebrata delle zone umide di Primiero. Da/per Primiero 2/2015 - Terre d'Acqua pp. 105-128. https://cultura.primiero.tn.it/wp-content/uploads/2015/12/daperPrimiero\_2\_2015\_Partel.pdf.

PECHLANER R., 1971. Factors that control the production rate and biomass of phytoplankton in high mountajn lakes. Mitt. Iternat. Verein. Limnol., 19, 125-145 pp.

PIGNATTI S., 1982. Flora d'Italia, 3 vol. Edagricole.

PINI R., 2002. A high-resolution Late-Glacial – Holocene pollen diagram from Pian di Gembro (Central Alps, Northern Italy). Vegetation History and Archaeobotany, 11, 251-262 pp.

PINI R., RAVAZZI C., ACETI A., CASTELLANO L., PEREGO R., QUIRINO T., VALLÈ F., 2016. *Ecological changes and human interaction in Valcamonica, the rock art valley, since the last deglaciation*. AMQ-Alpine and Mediterranean Quaternary, 29, 19-34 pp.

PLA S. 2001. *Chrysophycean Cysts from the Pyrenees*. J. Cramer Berlin, 179 pp.

Pontalti L., 2014. *La trota iridea Oncorhynchus mykiss (Walb.), dalla California al Trentino*. Dendronatura, 35(1): 83-91 pp.

Popovsky J. & Pfiester L.A., 1990. *Dinophyceae*. *Das Phytoplankton des Susswasser*. VI, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Provincia Autonoma di Trento, 2007. *Piani di Gestione della Pesca* 2007-2011. Centro duplicazioni della Provincia Autonoma di Trento, pp. 654.

Provincia autonoma di Trento, 2012. *Piani di Gestione della Pesca. DGP n. 2637, del 7 dicembre 2012. Servizio Foreste e Fauna, Ufficio Faunistico. Volume: Valli dell'Avisio e del Fersina.* https://forestefauna.provincia.tn.it/content/download/13056/233462/file/PianopescaVallidell'AvisioedelFersina.pdf.

PRYGIEL J. & COSTE M., 1998. Mise au point de l'Indice Biologique Dia-

tomée, un indice diatomique pratique applicableau réseau hydrographique français. Eau Ind.Nuis., 211: 40-45 pp.

PSENNER R. & CATALAN J., 1994. Chemical composition of lakes in crystalline basinis: a combination of atmospheric deposition, geological background, biological activity and human action. In: Margalef R. (ed.): Limnology Now: a paradigm of planetary problems. Elsevier Science B.V.. Amsterdam, 255-314 pp.

RAVAZZI C., 2002. *Late Quaternary history of spruce in southern Europe*. Rev. Paleobot. Palynol. 120, 131-177 pp.

RAVAZZI C., PERESANI M., PINI R., VESCOVI E., 2007. *Il Tardoglaciale nelle Alpi italiane e in Pianura Padana*. Evoluzione stratigrafica, storia della vegetazione e del popolamento antropico. Il Quaternario, 20, 163-184 pp.

RAVAZZI C. & VESCOVI E., 2009. Le testimonianze fossili della riforestazione del Cansiglio al termine dell'ultima glaciazione. In Peresani M. e Ravazzi C. (Eds.) "Le Foreste dei Cacciatori Paleolitici" Supplemento al Bollettino della Società Naturalisti Silvia Zenari - Pordenone.

Reille M., 1992. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.* Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille.

Reille M., 1998. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, supplement 2*. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille.

Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Buck, C.E., Burr G.S., Edwards R.L., 2009. *IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP*. 51, 1111-1150 pp.

RENBERG I., 1990. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. Journal of Paleolimn. 4: 87-90 pp.

REYNOLDS C.S., 2006. The ecology of Phytoplankton. Ed. Cambridge, 535 pp.

REYNOLDS C.S., 1984. *Phytoplankton periodicity: the interactions79f form, function and environmental variability.* Freshwat. Biol., 14, 111-142 pp.

REYNOLDS C.S., 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany, 371 pp.

REYNOLDS C.S., 1999. *Metabolic sensitivities of lacustrine ecosystems to anthropogenic forcing*. Aquat. Sci., 61, 183-205 pp.

REYNOLDS C.S., HUSZAR V.L., KRUK C., NASELLI-FLORES L., MELO S., 2002. *Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton*. J. Plankton Res. 24, 417-428 pp.

ROBERTS N., 1989, The Holocene. Blackwelle pub., 316 pp.

ROGORA M., MOSELLO R., ARISCI S., 2003. *The effect of climatewarming on the hydrochemistry of alpine lakes*. Water, Air, and Soil Pollution, 148, 347-361 pp.

Rosén G., 1981. *Phytoplankton indicators and their relations to certain chemical and physical factors.* Limnologica 13, 263-290 pp.

ROTT E., 1981. *Some results from phytoplankton counting intercalibration*. Schweiz Z. Hydrol. 43/1, 35-62 pp.

SAIKI R.K., GELFAND D.H., STOFFEL S., SHARF S.J., HIGUCHI R., HORN G.T., MULLIS K.B., EHRLICH H.A., 1988. *Primer-directed enzymatic amplification of DNA with thermostable DNA polymerase*. Science 239, 487-491 pp.

Salmaso N. & Decet F., 1997. Seasonal and Interannual Changes of Chemical Charateristics and Phytoplankton in a Mountain Lake of the Eastern Italian Alps (lake Calaita, Trentino). Int. Revue ges. Hydrobiol., 82(1), 15-31 pp.

Salmaso N., 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. Hydrobiologia, 438, 43-63 pp.

Salmaso N., 2002. Ecological patterns of phytoplankton assemblages in Lake Garda: seasonal, spatial and historical features. J. Limnol., 61, 95-115 pp.

SALMASO N., MANFRIN M., CORDELLA P., 1995. Germination of Cyanophyte akinetes from the sediments of Lake Garda. Giornale botanico italiano, 129 (2): 12 pp.

Salmaso N., Morabito G., Mosello R., Garibaldi L., Simona M., Buzzi F., Ruggiu D., 2003. *A synoptic study of phytoplankton in the deep lakes south of the Alps (lakes Garda, Iseo, Como, Lugano and Maggiore)*. J.Limnol., 62, 207-227 pp.

Salmaso N. & Padisak J., 2007. Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany) Hydrobiologia, 578: 97-112 pp.

Salmaso N. & Zignin A., 2007. *Phytoplanktongemeinschaft*. In: Untersuchung der wasserqualitat der kleiner alpenseeen S. Vito di Cadore ARPAV Publisher, Verona, 188-204 pp.

Sambrook J., Fritsch E.F. e Maniatis T., 1989. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual, 2nd edn.* Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY.

Sandgren C.D., 1980. Resting cyst formation in selected chrysophyte flagellates: an ultrastructural survey including a proposal for the phylogenetic significance of interspecific variations in the encystment process. Protistologica, 16: 289-303 pp.

Sandgren C.D., 1981. Characteristics of sexual and asexual resting cyst (statospore) formation in Dinobryon cylindricum Imhof (Chrysophyta). J. Phycol. 17: 199-210 pp.

Sandgren C.D., 1983. Survival strategies of chrysophycean flagellates: reproduction and the formation of resistant resting cysts. In G.A. Fryxell (ed), Survival strategies of algae. Cambridge University Press, Cambridge: 23-48 pp.

SANDGREN C.D., 1988. *The ecology of chrysophyte flagellates: their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton.* In: Sandgren, C.D. (ed.) Growth and 16 reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 9-104 pp.

SANDGREN C.D., 1991. *Chrysophyte reproduction and resting cysts: a pale-olimnologist's primer.* Journal of Paleolimnology 5, 1-9 pp.

SANDFORD L.P., 1992. New sedimentation, resuspension, and burial. Limnol. Oceanogr., 37 (6): 1164-1178 pp.

SANGER J.E., 1988. Fossil pigments in paleoecology and paleolimnology. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 62, 342-359 pp.

Sansoni G., 1988. Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Provincia autonoma di Trento.

SARACENI C. & RUGGIU D., 1974. Tecniques for sampling water and phytoplankton. In Vollenweider (ed.). A manual on methods for measuring Primary production in Aquatic Environments. Hand book 12. Blackwell Oxford, 5-7 pp.

Schanz F. & Stalder S., 1998. *Phytoplancton summer dynamics and sedimentation in the thermally stratified Lake Cadagno*. Documenta Ist. ital. Idrobiol, 63: 71-76 pp.

Schindler D.W. & Noven B., 1971. Vertical distribution and seasonal abundance of zooplankton in two shallow lakes of the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario. J. Fish. Res. Board Can., 28, 245-256 pp.

Schindler D.W., 1986. *The significance of in lake production of alkalinity.* Water Air Soil Pollution, 30, 931-944 pp.

Schmidt R., Kamenik C., Lange-Bertalot H., Klee R., 2004. Fragilaria and Staurosira (Bacillariophyceae) from sediment surfaces of 40 lakes in the Austrian Alps in relation to environmental variables and their potential for paleoclimatology. J. Limnol. 63, 171-189 pp.

SCHAUMANN W., 1973. Le nostre montagne di guerra II. Ghedina Ed.

Schwoerbel J., 1999. *Einfuerhung in die Limnologie*. Auflage, Gustav Fisher, 465 pp.

SMAYDA T.J., 1978. *From phytoplankton to biomass*. In: Sournia, A. (ed.) UNESCO Phytoplankton Manual. (1986). UNESCO, Paris, 273-279 pp.

SMOL J.P. & STOERMER E.F., 1999. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, 667 pp.

Sommaruga-Wograth S., Koinig K.A., Schmidt R., Sommaruga R., Tessadri R. & Psenner R., 1997. *Temperature effects on the acidity of remote alpine lakes*. Nature, 387, 64-67 pp.

Sommer U., 1987. Factor controlling the seasonal variation in phytoplankton species composition-a case study for a deep, nurient rich lake. Progr. Phycol. Res., 5: 123-178 pp.

STEINBÖCK O., 1955. Über die Verhältnisse in der Tiefe der Hochgebirgsseen. Memorie Istituto italiano di Idrobiologia Suppl. 8, 311-343 pp.

Stella E., 1931. *Intorno ad alcuni laghi alpini del Trentino, dell'Ampezzano e dell'Alto Adige*. Mem. Museo storia Naturale Venezia Tridentino, 1, 45-66 pp.

STEIN J.R., 1973. *Handbook of phycological methods*. Culture methods and growth, measurements. Cambridge University Press: 7-231 pp

STOCH F., 2006. *Invertebrati: lo zooplancton*. In: AA.VV 2006 - Laghetti d'alta quota. Perle nel paesaggio di montagna. Quaderno Habitat, 14, 66-81 pp.

STOCKNER J.G. & Antia N.J., 1986. *Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective.* Canadian Journal of Fisheries And Aquatic Sciences 43: 2472–2503 pp.

Streble H. & Krauter D., 1984. *Atlante dei microrganismi acquatici*, 128-131 pp.

STUMM W. & WERNER J.J., 1981. Aquatic Chemistry. J. Wiley & Sons, 780 pp.

STUMM W. & SCHNOOR J., 1995. *Atmospheric Deposition: Impacts of Acid on Lakes*. In: Lerman A. Imboden D. (Eds.) Physics and Chemistry of Lakes, 2nd Ed., Springer, 185-215 pp.

TAIT D. & THALER B., 1988. Controllo del processo di acidificazione nei laghi d'alta quota in provincia di Bolzano. Provincia Autonoma, Bolzano, Italy.

Tait D. & Thaler B., 2000. Atmospheric deposition and lake chemistry trends at a high mountain site in the eastern Alps. Journal of Limnology, 59 (1): 61-71 pp.

TANG E.P., 1995. *The allometry of algal growth rates*. Journal of Plankton Research 17: 1325-1335 pp.

Tomaselli R., Balduzzi A., Filipello S., 1973. *Carta bioclimatica d'Italia*. Collana Verde (Ministero AA.FF.), 33, pp. 16-24 pp.

Tardio M., Spitale D., Cantonati M., 2005. Vertical migration of a dinoflagellate in a column-shaped enclosure in Lake Tovel (Adamello-Brenta Natural Park, Italian Alps). Verh. Int. Verein Limnol. 29, 143-146 pp.

Tartari G. A. & Mosello R., 1997. *Metodologie analitiche e controlli di qualit nel laboratorio chimico dell'istituto italiano di idrobiologia*. Doc. Ist. Ital. Idrobiol., 60: 160 pp.

TAUFER G., 2012. In Bertolli: *Naturalmente Trentino paesaggi, natura, luoghi*. SAT Curcu & Genovese 539-543 pp.

TER Braak C.J.F. & VAN DAM H., 1989. *Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods*. Hydrobiologia, 178, 209-223 pp.

THE MOLAR WATER CHEMISTRY GROUP, 1999. *The MOLAR Project: atmospheric deposition and lake water chemistry*. Journal of Limnology 58 (2), 88-106 pp.

TILZER M.M., 1972. Dynamik und Produktivitat von Phytoplankton und pelagischen. Bakterien in einem Hochgebirgssee. Arch. Hydrobiol. 40, 210-273 pp.

TOLOTTI M., MANCA M., ANGELI N., MORABITO G., THALER B., ROTT E., STUCHLIK E., 2006. *Phytoplankton and zooplankton associations in a set of alpine high altitude lakes: geographic distribution and ecology.* Hydrobiologia 562, 99-122 pp.

TOLOTTI M., 2001a. Phytoplankton and littoral epilithic diatoms in high mountain lakes of the Adamello-Brenta Regional Park (Trentino, Italy) and their relation to trophic status and acidification risk. J. Limnol. 60, 171-188 pp.

TOLOTTI M., 2001b. Littoral diatom communities in high mountain lakes of the Adamello-Brenta Regional Park (Trentino, Italy) and their relation to acidification, pp. 327-352. In: Jahn, R., Kociolek, J.P., Witkowski, A. & Compére, P. (eds) Lange-Bertalot-Festschrift, Gantner, Rugg.

TOLOTTI M., 2006. Fitoplancton. In Cantonati & Lazzara (eds.): I laghi di alta montagna del bacino del Fiume Avisio (Trentino orientale). Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento (Monografie), 3: 99-128 pp.

Tomaselli R., Balduzzi A., Filippello S., 1973. *Carta bioclimatica d'Italia*. Collana Verde (Ministero AA.FF.), 33, 16-24 pp.

Tomasi G., 1962. Origine, distribuzione, catasto e bibliografia dei laghi del Trentino. Studi trent. Sci. Nat., 316 pp.

Tomasi G., 1963. I laghi del Trentino. Ed Manfrin, Rovereto, 329 pp.

Tomasi G., 2004. *I trecento laghi del Trentino*. Artimedia - Temi Editrice, Trento, 53 6 pp.

Tonolli V., 1964. *Introduzione allo studio della limnologia.* (*Ecologia e biologia delle acque dolci*). Edizioni dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, Verbania Pallanza, 389 pp.

Tonolli V. & Tonolli L., 1951. *Osservazioni sulla biologia ed ecologia di 170 popolamenti zooplanctonici di laghi italiani di alta quota.* Mem. Ist. ital. Idrobiol. 6, 53-136 pp.

Tonon A., AA 2015-2016. *Studio dello zooplancton in laghi d'alta quota, Laghi Colbricon*. Tesi. Università degli Studi di Padova.

TORSVIK V., GOKSOYR J., DAAE F.L., 1990. *High diversity of DNA of soil Bacteria*. Appl. Environ. Microbiol. 56, 782-787 pp.

Trevisan R. & Rosso A., 2001. *I laghi di Colbricon (Trentino orientale):* principali caratteristiche morfometriche e limnologiche. Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Biologica, 76 (1999), 87-104 pp.

TREVISAN R. & ZANCAN S., 2000. Phytoplankton summer dynamics in Lake Cobricon Superiore (1920 m a.s.l. - Paneveggio Natural Park - eastern Alpes - Italy). Proceedings of Internetional Symposium "High mountain lakes and steams", Innsbruck, Austria 51 p.

Trevisan R., 1978. *Nota sull'uso dei volumi algali per la stima della biomassa*. Riv. Idrobiol., 17 (3), 345-358 pp.

Trevisan R., Baldon S., Zancan S., 2000. Cianobatteri e microalghe nei sedimenti dei Laghi Colbricon (Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino - TN), Atti "Gruppo di Lavoro per l'Algologia della SBI, 26 p.

Trevisan R., Fonti M., Baldon S. & Zancan S., 2002. Seasonal fluctuations of phytoplankton biomass, composition and species diversity in two small high-mountain lakes in the Italian Alps. Abstracts of XIII Workshop of the International Association of The Phytoplankton Taxonomy and Ecology Castelbuono, 54 p.

Trevisan R., Musazzi S., Zannoni M., 2013. Ricostruzione paleolimnologica mediante l'analisi di diatomee subfossili nei sedimenti del Lago Colbricon Inferiore (Trentino). Atti Convegno AIOL, 56 p.

Trevisan R., Pertile R., Bronamonte V., Dazzo F.B., Squartini A., 2012.

Dinophyceae Fluctuations in Two Alpine Lakes of Contrasting Size During a 10-Year Fortnightly Survey. J. Microbiol. Biotechnol. 22(6), 754-762 pp.

TREVISAN R., PICARELLA M., DAZZO F.B., BONA S., MORABITO G., SQUARTINI A., 2014. *Using a morpho-functional approach to assess phytoplankton dynamics in two adjacent high-mountain lakes: a 10-year survey.* J. Limol. 73 (3), 409-420 pp.

Trevisan R., Poggi C., Squartini A., 2010. Factors affecting diatom dymamics in the alpine lakes of Colbricon (Northern Italy): a 10-year survey. Journal of Limnology, 69 (2): 199-208 pp.

TREVISAN R., LAMI A., MUSAZZI S., LEYS B., BELLE S., 2017. *Paleolimnological investigation in a small alpine lake: L. Colbricon Inferiore (Trentino, Italia)*. International Meeting on the Conservation of High Mountain Lakes. Ceresole Reale, Italy.

Utermöhl H., 1958. Zur Vervolkommnung der quantitaiven Phytoplankton Methodik. Verh. Int. Verein. Limnol. 9, 1-38 pp.

UYE S-I, NAKAI S., AIZAKI M., 2004. Potential use of extremely high biomass and production of Copepods in an enclosed brackish water body in Lake Nakaumi, Japan, for the mass seed production of fishes. Zool. Stud. 43, 165-172 pp.

VAN DAM H., MERTENS A., SINKELDAM J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, 28, 117-133 pp.

VAN DEN HOECK C., MANN D.G., JAHNA H.M., 1995. *Algae. An introduction to Phycology. Cambridge University Press.* New York, 637 pp.

VAN ELSAS J.D., DUARTE G.F., ROSADO A.S., SMALLA K., 1998. *Microbio-ogical and molecular biology methods for monitoring microbial ino-culants and their effects in the environment*. J. Microbiol. Methods 32, 132-154 pp.

VENDRAMIN E., DONÀ C., TREVISAN R., SQUARTINI A., 2007. Diversità microbica e algale in funzione dell'impatto antropico in un sistema naturale: il Lago del Colbricon Superiore. St. Trent. Scienze Naturali. Acta Biologica, 8, 351-56 pp.

VENDRAMIN E., CAGNAZZO A., SQUARTINI A., 2001a. *Micribiodiversità dei lagi del Colbricon (Trentino, Italy): un approccio di tassonomia molecolare*. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol., 78, 117-127 pp.

VENDRAMIN E., CAGNAZZO A., BALDON S., TREVISAN R., SQUARTINI A., 2001b. *Microbiol diversity in a northen-italian oligotrophic alpine lake* - ISME -9-Symposium on Microbiaol Ecology Amsterdam, 306 pp.

VENDRAMIN E., CORICH V., TREVISAN R., SQUARTINI A., 1998. *Comparison between culturable and non culturable bacterial communities in an alpine lake ecosystem*. Eighth International Symposium on Microbial Ecology (ISME-8), Halifax, Canada 9-14 August, Abst. 337 pp.

Vescovi E., Ravazzi C., Arpenti E., Finsinger W., Pini R., Valsecchi V., Tinner W., 2007. *Interactions between climate and vegetation during the Lateglacial period as recorded by lake and mire sediment archives in Northern Italy and Southern Switzerland*. Quaternary Science Reviews, 26, 1650-1669 pp.

Vollenweider R.A., 1974. A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. 2nd edition, IBP Handbook No 12, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 225 pp.

Wania F., 2003. Assessing the potential for POP for long range transport and accumulation in polar region. Env. Sci. Technol. 37(7) 1344-1351 pp.

Weidner S., Arnold W., Pühler A., 1996. Diversity of Uncultered Microorganisms Associated with the Seagrass Halophila stipulacea Estimated by Restriction Fragment Lenght Polymorphism Analysis of PCR-Amplified 16S rRNA Genes. Appl. Environ. Microbiol. 62, 766-771 pp.

WETZEL R.G., 1983. *Limnology*. Ed. Saunder College Publishing, Philadelphia, 768 pp.

WILKINSON A.N., ZEEB B.A., SMOL J.P., 2001. *Atlas of chrysophycean cysts*. Vol II. Kluwer Academic Press, Dordrecht

WILLÉN E., 1991. *Planktonic diatoms - an ecological review.* Algological Studies 62, 69-106 pp.

WILLÉN E. 2000. *Phytoplankton in water quality assessment - an indicator concept,* In P. Heinonen, G. Ziglio, and A. Van der Becken (eds.). Hydrological and Limnological Aspects of lake monitoring. Wiley, New York 58-80 pp.

Woese C.R., Gutell R., Gupta R., Noller H.R., 1983. *Detailed analysis of the higher-order structure of 16S-like ribosomal nucleic acids*. Microbiol. Rev. 47, 621-669 pp.

Wögrath S. & Psenner R., 1995. Seasonal, annual and long-term variability in the water chemistry of a remote high mountain lake: acid rain versus natural change. Water Air Soil Poll., 85, 359-364 pp.

Zanni M. & Ravazzi C., 2007. Description and differentiation of Pseudolarix amabilis pollen Palaeoecological implications and new identification key to fresh bisaccate pollen. Rev. Paleobot. Palynol. 14, 35–75 pp.

Zannoni M., AA 2011-2012. Ricostruzione paleolimnologica mediante l'analisi di Diatomee subfossili nei sedimenti del Lago Colbricon Inferiore (Trentino). Tesi di Laurea. Università degli Studi di Padova, 84 pp.

ZANON B., 2016. Revisione/variante del Piano del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino. URL: <a href="http://www.parcopan.org/it/ente/piano-del-parco-p293.html">http://www.parcopan.org/it/ente/piano-del-parco-p293.html</a>.

ZEEB B.A. & SMOL J.P., 2001. *Tracking environmental chance using lake sediments*. Vol. 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 203-223 pp.

ZHOU J., BRUNS M., TIEDJE J., 1996. *DNA recovery from soils of diverse composition*. Applied and Environmental Microbiology 62, 316-32 pp.

ZÜLLIG H., 1985. *Pigmente phototropher Bakterien in Seesedi-menten und ihre Bedeutung für die Seenforschung*. Schweiz. Z. Hydrol., 47, 87-126 pp.

\*\*\*

Guiry M.D. & Guiry G.M. *AlgaeBase*. Pubblicazione elettronica mondiale, National University of Ireland, Galway. http://www.algaebase.org;

Guiry M.D. & Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <a href="http://www.algaebase.org.www.cyanodb.cz">http://www.algaebase.org.www.cyanodb.cz</a>

http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/metodi-biologici-acque/laghi-macrofite.pdf

I Laghi di Colbricon sono stati riconosciuti come siti di particolare interesse e da salvaguardare anche a livello Europeo. Sono ambienti carichi di storia, di fascino e fanno parte della tradizione e della cultura delle nostre montagne. In questo quaderno sono riportati i risultati di uno studio durato vent'anni su un ambiente che meriterebbero un costante monitoraggio anche nel futuro. Quali saranno stati gli effetti degli eventi verificatisi il 29 ottobre 2018 quando la stazione meteo di passo Rolle ha registrato un vento di 217 Km / ora? Il semplice rimescolamento delle acque, su tutta la colonna, ha effetti sul chimismo in primis e poi su tutti gli organismi.

Dal 1998 al 2017 sono state raccolte dettagliate informazioni sulla geomorfologia del bacino lacustre, sulla chimica delle acque, su batteri, microalghe, zooplancton, invertebrati e vertebrati presenti. Attraverso l'indagine su una sequenza di sedimenti raccolti nel fondale del Lago Colbricon Inferiore abbiamo ricostruito la storia della vegetazione degli ultimi 13.000 anni, dalla fine del Pleistocene a tutto l'Olocene, fino a circa 2.000 anni fa. Sono stati individuati gli effetti dei principali cambiamenti climatici e dell'attività umana sull'ecosistema lacustre e sulla vegetazione circostante. In particolare dalle Diatomee fossili si è ricostruito il pH delle acque del lago, dalle particelle carboniose e dai macroresti vegetali si sono ricostruiti gli eventi incendiari, dal polline fossile è stato possibile riconoscere i cambiamenti subiti dalla vegetazione che ricopriva il territorio attorno ai laghi in seguito all'alternanza di periodi caldi e freddi. Parimenti, l'indagine geomorfologica ha permesso di interpretare la genesi dei laghi come dovuta a processi tettonici strutturali, ribaltando le precedenti ipotesi che li vedevano come laghi di circo glaciale.

Renata Trevisan Prof. Associato di Botanica, docente del Corso di Laurea in Scienze Naturali presso l'Università di Padova. Tra i vari filoni di ricerca, il principale è sempre stato quello legato allo studio degli ecosistemi lacustri allo scopo di indagare sia gli organismi presenti, che la fitta rete che lega i vari parametri biotici e abiotici.