

*Documenta*  
**DELL'ISTITUTO ITALIANO  
DI IDROBIOLOGIA  
DOTT. MARCO DE MARCHI**

**N. 4  
CONOSCERE UN LAGO**

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
ISTITUTO ITALIANO DI IDROBIOLOGIA – VERBANIA PALLANZA  
1984

CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi  
Sez. Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne  
(Verbania Pallanza)

# CONOSCERE UN LAGO

Gianluigi GIUSSANI e Riccardo DE BERNARDI

Nuova edizione, a cura di Gianluigi GIUSSANI, del volume pubblicato dagli stessi autori nella collana Documenta dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, 4, 1984.

Versione elettronica realizzata da Roberto BERTONI

2003

## 1. INTRODUZIONE

Nonostante lo studio specifico dei laghi e degli organismi acquatici risalga alla seconda metà del XVII secolo e sia attribuibile a B. Varenio ed a A. Kircher e, successivamente, a L.F. Marsili, L. Spallanzani e A. Volta, è solamente ad opera dello svizzero F.A. Forel che la LIMNOLOGIA (dal greco: studio dei laghi) assume la dignità di scienza nel significato moderno del termine. La monumentale opera del Forel (*Le Léman, Monographie Limnologique*), pubblicata in tre volumi tra il 1892 e il 1904, può essere considerata il primo testo ufficiale di questa scienza. A queste prime opere monografiche ne seguirono altre: di grande interesse fu lo studio dei limnologi ungheresi sul Lago Balaton, considerato uno dei laghi meglio conosciuti nel mondo.

Anche in Italia questa nuova scienza stimolò una serie di importanti studi, soprattutto ad opera di G.P. Magrini, di P. Pavesi, di G. De Agostini, di M. De Marchi, di R. Monti e dei loro allievi (E. Baldi, Livia Pirocchi Tonolli e V. Tonolli). Il primo Istituto limnologico italiano sorse a Pallanza nel 1938, sulla sponda occidentale del Lago Maggiore, ove è tuttora operante.

Scopo della Limnologia è dunque lo studio delle raccolte d'acqua dolce disseminate sulla superficie terrestre, siano esse grandi laghi profondi, piccoli laghi, stagni, pozze. Molte sono le discipline scientifiche che la Limnologia deve compendiare in una unica visione dinamica. La Limnologia è una scienza interdisciplinare, volta a studiare i molteplici aspetti dei fenomeni relativi ai corpi d'acqua e, per far questo, essa deve trarre continuo e costante aiuto da discipline quali la geografia, la geologia, l'idrologia, la meteorologia, la fisica, la chimica, la zoologia, la botanica, la microbiologia, la matematica e, ultima in ordine di tempo ma non per importanza, l'informatica.

## 2. ORIGINE E CLASSIFICAZIONE DEI BACINI LACUSTRI

Osservando il planisfero terrestre ci si rende immediatamente conto che le acque di fiumi e laghi sono, quantitativamente, ben poca cosa rispetto alle masse d'acqua oceaniche. Infatti, la quantità d'acqua dolce che costituisce laghi e fiumi è solamente lo 0,02% dell'intera quantità d'acqua presente sul globo terrestre. Appare superfluo illustrare l'importanza che questa pur esigua parte riveste da sempre, non solamente quale fulcro di tutte le attività economiche e sociali umane, ma anche, da un punto di vista più strettamente biologico, quale sede elettiva di sviluppo di gran parte degli organismi viventi, dai più semplici ai più complessi. Basti un esempio ad illustrare questo aspetto: delle oltre ventimila specie ittiche a tutt'oggi classificate quasi la metà vive in acque dolci di laghi e fiumi.

Un'osservazione più accurata della carta geografica ci porterà a scoprire che i bacini d'acqua dolce non sono delle entità geografiche isolate ma, al contrario, costituiscono una rete fluvio-lacustre ininterrotta che interessa la gran parte della superficie delle terre emerse. Questa rete, contrariamente a quanto si può in un primo momento pensare, non è immutabile; la continua evoluzione della morfologia delle terre emerse, cui contribuiscono numerose cause, interessa infatti anche i corsi d'acqua e con essi i bacini lacustri.

Tra i bacini lacustri di una determinata area geografica che ci può capitare di osservare esiste un'estrema diversificazione morfologica. Tale diversità appare ancora maggiore se, invece di considerare i bacini lacustri di una singola regione geografica, si considera l'intera superficie delle terre emerse. Queste differenze morfologiche sono sostanzialmente attribuibili ad una diversa origine dei bacini lacustri. Schematicamente, l'origine dei laghi può essere ricondotta ad una decina di cause principali che vengono qui sinteticamente riportate con lo scopo esclusivo di citare l'origine dei bacini più importanti in senso assoluto e di quelli che possono interessare più direttamente il lettore in quanto compresi nel territorio italiano.

- 1) **Laghi di origine tettonica e vulcanica.** Questi laghi sono legati ad alcune linee strutturali della crosta terrestre. La più importante fossa tettonica della terra è quella che dal Centro Africa si estende fino all'Asia Minore; qui si trovano alcuni dei più grandi e più profondi laghi in senso assoluto: Lago Tanganika (superficie di circa 25.000 km<sup>2</sup> e profondità massima di 1435 m), Lago Niassa (sup. 23.000 km<sup>2</sup>) e Lago Rodolfo (sup. 10.000 km<sup>2</sup>). Allo stesso tipo di fenomeni si può attribuire l'origine del Lago Baikal (superficie 31.500 km<sup>2</sup>, profondità massima 1620 m) nell'Asia Nord Orientale e del Lago Balaton nell'Europa Centrale. Tra i laghi che occupano la cavità di vulcani spenti si devono citare, in territorio italiano, il Lago di Nemi, il Lago di Bolsena, il Lago di Bracciano e il Lago di Albano nell'Italia Centrale.
- 2) **Laghi legati alle forme del paesaggio strutturale o laghi relitti.** Sono da considerare residui di mari o lagune di ere geologiche passate, alcuni esempi sono il Lago d'Aral, nel l'Asia Continentale, il Mar Caspio, i laghi della Regione Finnica.
- 3) **Laghi di escavazione e di sbarramento da ghiacciaio.** Costituiscono la maggior parte dei bacini lacustri delle regioni montuose che sono, o sono state, interessate dal glacialismo. Tutti i laghi della Regione Alpina e Prealpina sono di origine glaciale, dai grandi laghi profondi delle Prealpi (Lago Maggiore, L. di Lugano, L. di Como, L. d'Iseo e L. di Garda) ai piccoli bacini d'alta quota (laghi di circo, laghi in rocce montonate, laghi di doccia, ecc.), ai laghi morenici e intermorenici (ad esempio alcuni piccoli laghi della Regione Prealpina).



**Fig. 1.** Un grande lago sud Alpino: Lago Maggiore, Bacino Borromeo.

- 4) **Laghi in rocce solubili.** Sono i laghi di dolina o carsici. Generalmente sono di piccole dimensioni e in Italia sono presenti nel Carso e nell'Appennino Abruzzese.
- 5) **Laghi dovuti all'azione dei fiumi.** Si formano in meandri morti o in allargamenti del letto fluviale (esempi: Lago di Garlate e Lago di Olginate, Laghi di Mantova, in Lombardia).



**Fig. 2.** Un piccolo lago della regione Prealpina: il Lago di Candia (Torino).

- 6) **Laghi formati dall'azione del vento.** Sono frequenti in zone con clima steppico e desertico nelle quali il vento può scavare vaste conche e accumulare grosse dune che sbarrano il percorso di fiumi. Alcuni esempi sono costituiti dai Laghi Amari della Penisola del Sinai e dal Lago Ciad in Africa (Sudan).
- 7) **Laghi legati alle variazioni delle linee di spiaggia o laghi costieri.** In alcuni punti della costa marina con particolare morfologia, l'ondazione può accumulare materiale sabbioso che occlude uno specchio d'acqua più o meno vasto. Esempi in territorio italiano sono riferibili ai Laghi di Sabaudia e, nella penisola del Gargano, ai laghi di Varano e Lesina.

- 8) **Laghi originati da accumulo di materiale** prodotto da organismi viventi come, ad esempio, i laghi di atollo.
- 9) **Laghi prodotti dall'impatto sulla terra di meteoriti** come, ad esempio, il Lago Bosuntwi in Africa Occidentale.
- 10) **Laghi artificiali**. Sono laghi formati dall'azione diretta dell'uomo che attraverso sbarramenti e dighe forma bacini lacustri per costituire riserve d'acqua da utilizzare per scopi irrigui, idroelettrici, potabili.

La suddivisione schematica qui riportata risponde alla sola esigenza di classificazione e vuole rappresentare un primo passo nell'approccio conoscitivo dell'ambiente lacustre. Tuttavia, questo tentativo di raggruppare i vari bacini lacustri secondo caratteristiche di comune origine presenta scarsa efficacia nel definire la funzione o la vocazione ecologica dei diversi corpi d'acqua.

Un secondo tipo di classificazione che più risponde alle esigenze di conoscenza funzionale di un lago è quella basata sul regime termico cui è soggetta la massa d'acqua lacustre. Prima di entrare direttamente nell'esame di questa classificazione è però opportuno accennare brevemente al processo di riscaldamento e raffreddamento delle acque lacustri.

La temperatura che un lago assume in un determinato momento temporale dipende dal suo bilancio termico, cioè dalla differenza fra gli apporti e le perdite di calore. Misurando la temperatura di un lago dalla superficie al fondo, in diversi momenti dell'anno, si ottengono profili termici molto differenti. In particolare, è possibile osservare periodi nei quali la colonna d'acqua ha la stessa temperatura dal fondo alla superficie e periodi nei quali vi è un elevato gradiente termico.

Per comprendere come ciò avvenga consideriamo, a titolo di esempio, un ipotetico lago della regione temperata e con profondità massima non superiore a 20 metri.

Verso la fine della stagione invernale le sue acque presentano, a tutte le profondità, una uguale temperatura di circa 4° centigradi. Con il sopraggiungere della primavera, e quindi con l'apporto di calore attraverso la radiazione solare, si determinerà un innalzamento della temperatura delle acque superficiali. In questa situazione il lavoro meccanico compiuto dal vento potrà operare un certo rimescolamento delle acque più superficiali (più calde e quindi con densità minore) con quelle immediatamente sottostanti (più fredde e quindi con densità più elevata). L'azione del vento contribuisce in maniera determinante alla distribuzione del calore dagli strati più superficiali a quelli più profondi. Tuttavia, nonostante questo contributo, è evidente che tra acque superficiali ed acque profonde andrà formandosi, con il progredire della stagione calda, un gradiente termico sempre più elevato; poiché acque a differente temperatura possiedono un diverso valore di densità, si instaurerà nel lago un gradiente di densità tale, tra acque

superficiali ed acque profonde, da impedire ogni possibile mescolamento ad opera del vento.

Alla fine della stagione calda, lungo la verticale del nostro ipotetico lago, si riconosceranno pertanto: uno strato di acque superficiali più o meno uniformemente calde, uno strato di acque profonde fredde ed uno strato intermedio caratterizzato da una rapidissima diminuzione della temperatura che, in pochi metri, passa dai valori dello strato superficiale a quelli dello strato profondo. Il lago risulta così termicamente stratificato. Con l'avvento dell'autunno si assiste ad un progressivo raffreddamento delle acque superficiali che, pertanto, tendono anche ad assumere una densità sempre più vicina a quella delle acque profonde. Ciò renderà di nuovo possibile all'azione del vento realizzare il mescolamento delle acque superficiali con quelle profonde con un progressivo ritorno alla situazione di isotermità che si andrà progressivamente restaurando lungo l'intera colonna d'acqua.

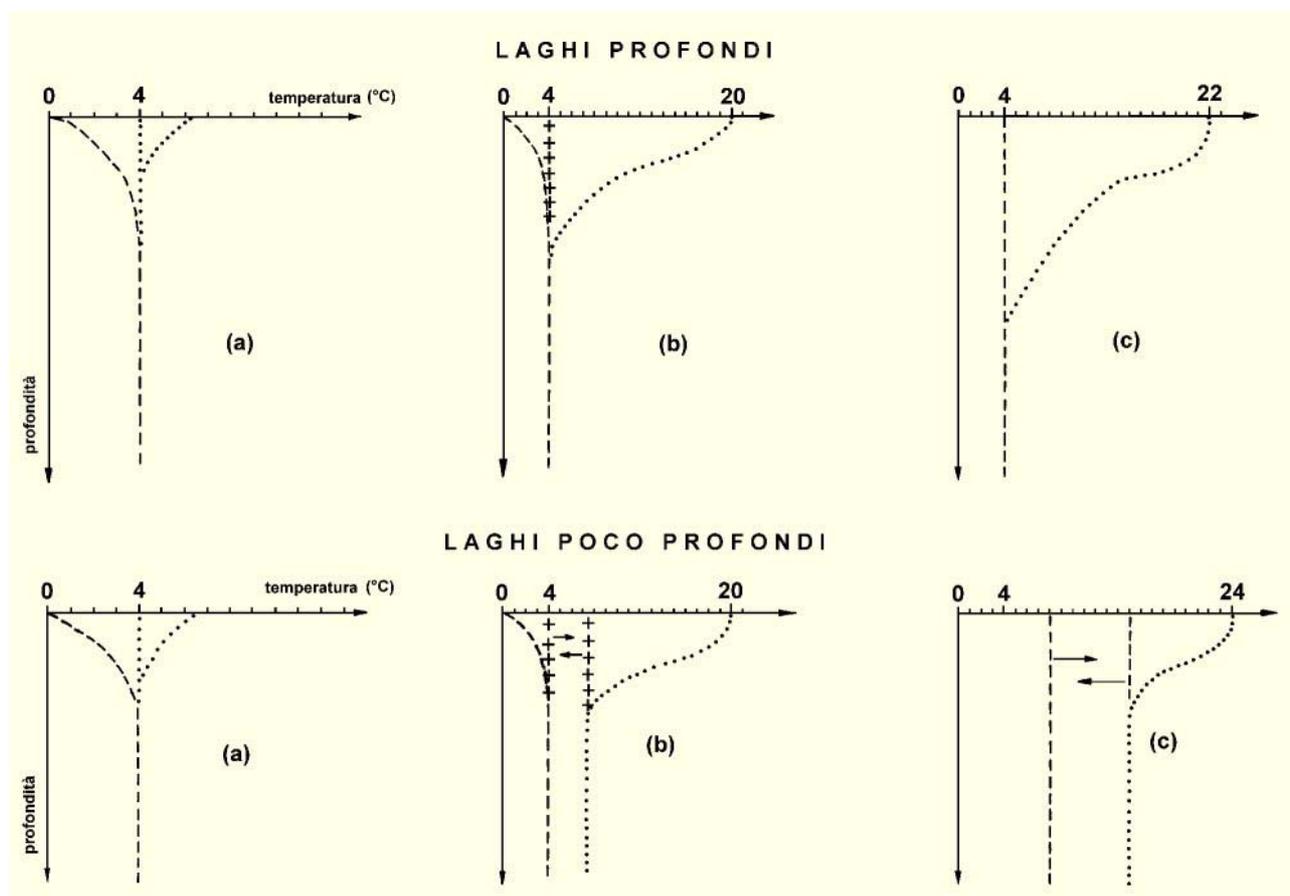
È opportuno sottolineare sin da ora, anche se si avrà più avanti l'occasione di approfondire questo fenomeno, la grande importanza che riveste il ciclo termico di un lago, soprattutto nel determinare l'effetto del parziale e del completo rimescolamento delle acque. A titolo di esempio basti ricordare che solamente attraverso la piena circolazione si ottiene il rifornimento di ossigeno disciolto delle acque profonde.

Numerosi fattori contribuiscono a caratterizzare il ciclo termico di un lago; primi fra tutti la latitudine e l'altitudine che influenzano direttamente la sorgente di energia termica, cioè la quantità e l'intensità della radiazione solare. Altri fattori, quali piovosità e ventosità (fattori climatici), nonché la forma del bacino lacustre e della sua cuvetta e la profondità (fattori morfologici), influenzano direttamente il trasferimento dell'energia termica agli strati più profondi.

La classificazione che consegue a quanto detto è quella che viene proposta qui di seguito:

- 1) **Laghi di tipo polare.** Sono laghi nei quali la superficie è costantemente gelata e la massa d'acqua sottostante ha sempre una temperatura inferiore ai 4 °C. Non si verifica mai la piena circolazione. Citiamo questi laghi solo a beneficio della precisione di classificazione, in quanto è evidente l'estrema particolarità di questi ambienti relegati in aree geografiche altrettanto particolari.
- 2) **Laghi di tipo subpolare.** In questi laghi la superficie è libera dai ghiacci solamente per un breve periodo estivo, durante il quale la temperatura degli strati superficiali supera i 4 °C. Si avrà così la possibilità di avere un solo periodo di isotermità e quindi di piena circolazione (laghi monomittici). A questa categoria di ambienti appartengono la gran parte dei nostri laghi alpini d'alta quota.
- 3) **Laghi di tipo temperato.** Le temperature superficiali di questi laghi sono, durante la stagione invernale, di qualche grado inferiori a 4°C anche se la

superficie può non gelare, mentre durante l'estate è superiore a 4°C. Verificandosi queste condizioni si hanno due periodi di isotermia e quindi due piene circolazioni l'anno: una primaverile ed una autunnale (laghi dimittici).



**Fig. 3.** Schema della struttura di distribuzione della temperatura in laghi profondi (alto) e poco profondi (basso) appartenenti a diverse tipologie: (a), sub-polare; (b), temperato; (c) sub-tropicale. - - - inverno; + + + primavera e autunno; ... estate.

- 4) **Laghi di tipo subtropicale.** Questa categoria, che in realtà comprende laghi che non si trovano esattamente nella regione subtropicale, raggruppa laghi nei quali la temperatura è sempre superiore, anche negli strati profondi, a 4° C. In questi ambienti si verifica annualmente un solo periodo di isotermia (fine inverno) e quindi una sola piena circolazione (laghi monomittici). A questo gruppo appartengono i grandi laghi subalpini.
- 5) **Laghi di tipo tropicale.** Sono i laghi delle regioni calde; in essi, infatti, le differenze di temperatura tra strati superficiali e strati profondi sono minime durante l'intero ciclo annuale.

Maggiori chiarimenti si avranno (soprattutto per i laghi dei gruppi 2, 3 e 4) dalla consultazione della figura 3 nella quale si tiene conto anche del fattore "profondità del lago".

### 3. IL LAGO È UN ECOSISTEMA

Spesso si è portati a considerare un lago come un elemento geografico che si inserisce nel territorio con notevoli risultati dal punto di vista paesaggistico. Inoltre, altrettanto comunemente, quando si pensa ad un lago, lo si considera una raccolta d'acqua nella quale sono disciolti alcuni sali e dispersi un certo numero di organismi, che può essere utilizzata per vari scopi: da quello ricreativo, irriguo, idroelettrico a quello alimentare attraverso la pesca. Per quanto riguarda le forme di vita in esso insediate, la considerazione generale si limita molto spesso alla fauna ittica. Solamente in tempi recenti il proliferare esplosivo di alcune alghe, in conseguenza di alcune forme di inquinamento, ha rivelato, anche ai non addetti ai lavori, l'esistenza di altre forme di vita microscopiche che, per la ragione stessa che le ha poste in evidenza, vengono considerate nocive dall'opinione comune o, quanto meno, indesiderabili.

L'Ecosistema, o Sistema Ecologico è, secondo la definizione che ne dà l'Ecologia (la scienza della quale l'Ecosistema è l'unità di studio fondamentale), l'insieme inseparabile delle comunità biologiche naturali (Componente Biotica) e dell'ambiente fisico e chimico nel quale gli organismi vivono (Componente Abiotica). Per Ecosistema si intende quindi l'interconnessione tra queste due componenti tra le quali esistono meccanismi di interazione reciproca. Un ecosistema può avere dimensioni molto varie: uno stagno, una parte di foresta, di oceano, di deserto, una coltura di laboratorio.

Il lago deve dunque essere considerato un Ecosistema e, tra i tanti, uno dei più complessi, oltre che non omogeneo in tutte le sue parti. In esso, infatti, le comunità biologiche, attraverso interazioni con le componenti chimiche e fisiche dell'ambiente, assumono differenti configurazioni e funzioni nelle differenti zone del lago.

A grandi linee, ed in maniera del tutto schematica, in un ambiente lacustre si possono fondamentalmente riconoscere: una zona litorale e una zona pelagica (Fig. 4). Quest'ultima può essere a sua volta suddivisa in uno strato eufotico (strato d'acqua superficiale nel quale si ha la penetrazione della radiazione luminosa) ed uno strato afotico (sottostante al precedente, non interessato dalla luce). Infine, la zona bentonica è quella a diretto contatto col fondo. A causa delle profonde differenze ambientali che le caratterizzano (principalmente differenze di illuminazione), queste zone ospitano comunità biologiche diverse tra loro ed altamente specializzate.

### 4. ANALISI DI UN ECOSISTEMA

Quando si parla di COMPONENTE ABIOTICA di un Ecosistema ci si riferisce a quegli elementi inorganici, quali carbonio, azoto, fosforo, acqua, anidride carbonica e moltissimi altri che entrano in gioco come fattori indispensabili allo sviluppo ed al mantenimento degli organismi viventi. Una componente abiotica molto importante è da ritenersi il regime climatico

(temperatura, piovosità, radiazione luminosa ed altri fattori fisici) che, al pari dei composti inorganici prima ricordati, ha grande parte nel determinare la funzionalità di un Ecosistema.

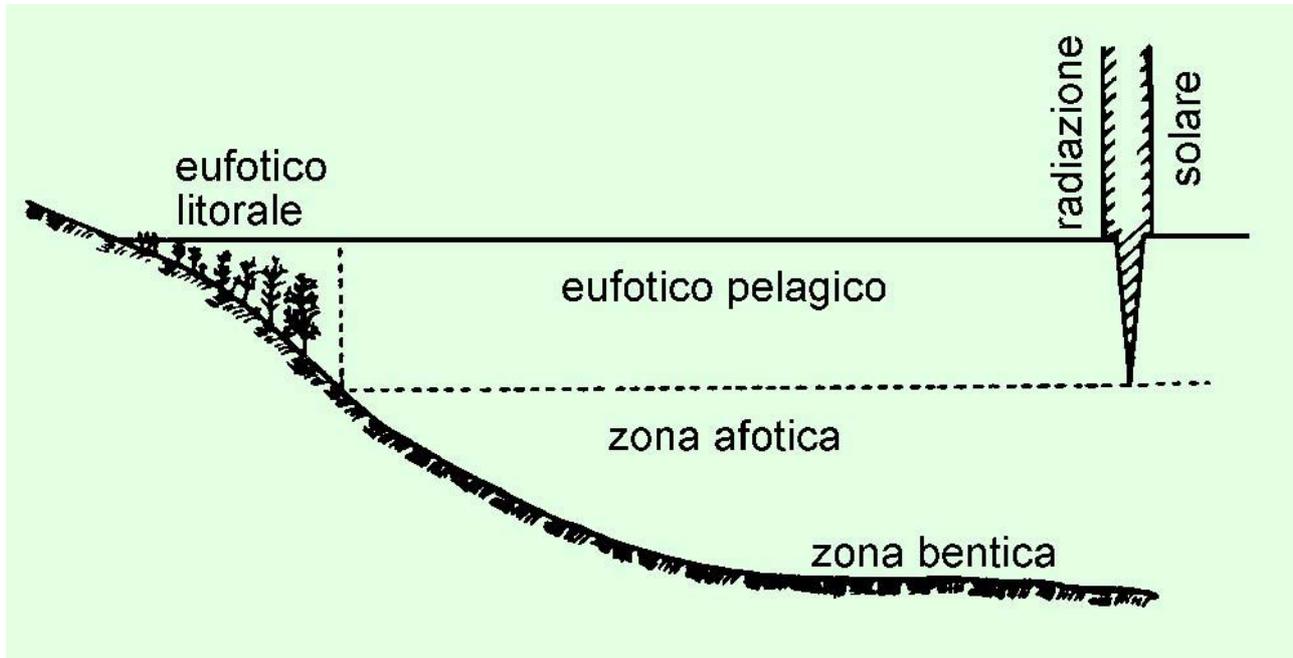


Fig. 4. Sezione di un lago e definizione delle principali zone nelle quali si suddivide.

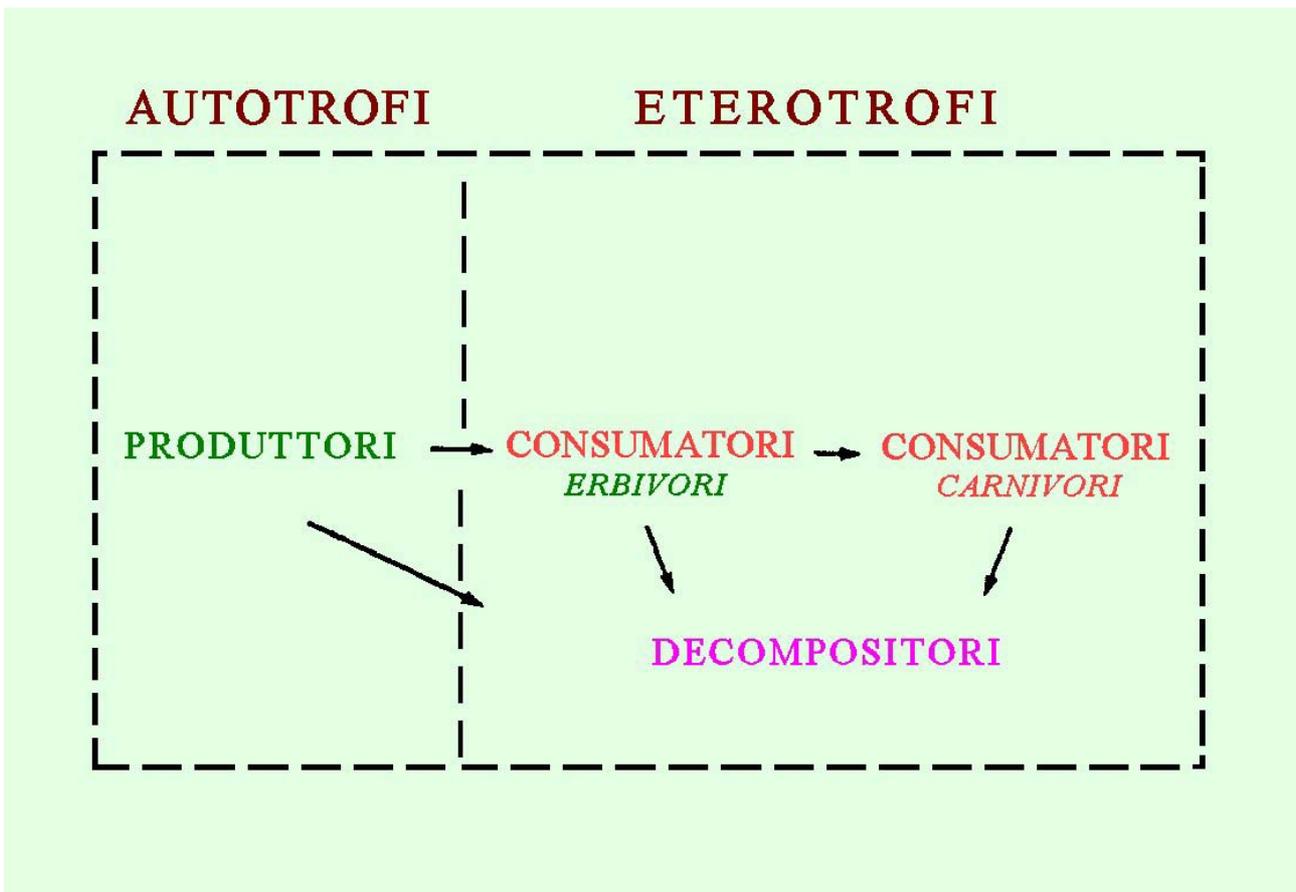
La COMPONENTE BIOTICA di un Ecosistema comprende principalmente due gruppi di organismi: gli AUTOTROFI e gli ETEROTROFI.

Gli AUTOTROFI (letteralmente: che si nutrono da sè, e non a spese di altri organismi) sono in grado di mantenersi in vita sfruttando direttamente le disponibilità di materiale inorganico dell'ambiente; sono, in altre parole, in grado di elaborare sostanze organiche complesse, quali proteine, zuccheri e grassi partendo da sostanze inorganiche semplici e facilmente reperibili nell'ambiente circostante. In tutti gli Ecosistemi gli organismi autotrofi più comuni sono gli "organismi verdi": piante verdi negli Ecosistemi terrestri ed alghe verdi negli Ecosistemi acquatici. Il possesso dei pigmenti clorofilliani e l'utilizzazione di una particolare lunghezza d'onda della luce solare quale fonte di energia, mette in grado questi organismi di compiere quella reazione chimica (detta Fotosintesi) che è da ritenersi fondamentale per l'esistenza stessa della vita sulla terra, la trasformazione cioè di acqua e anidride carbonica in glucosio. Da questo composto organico di base si passa poi, attraverso complicate reazioni chimiche che avvengono nella cellula, alla sintesi di tutti i composti che caratterizzano i viventi.

Il monopolio della vita è quindi detenuto da questi organismi che sono anche chiamati "PRODUTTORI", appunto perché in grado di "produrre materiale organico".

Tutti gli altri organismi sono detti ETEROTROFI cioè "che si nutrono a spesa di altri". Per questi si usa anche il termine più semplice di CONSUMATORI.

Gli eterotrofi, quindi, legano la loro possibilità di sopravvivenza alla presenza degli organismi autotrofi dei quali si nutrono. I Consumatori possono essere distinti, infine, in due categorie: MACRO-CONSUMATORI o Consumatori propriamente detti che usano, cioè, direttamente i produttori come fonte alimentare; MICRO-CONSUMATORI o DECOMPOSITORI costituiti da Batteri e Funghi, che demoliscono le spoglie degli organismi morti rimettendo in ciclo sostanze chimiche semplici riutilizzabili dagli organismi produttori (Fig. 5).



**Fig. 5.** Schema funzionale degli organismi di un ecosistema.

Sulla terraferma i produttori tendono ad essere relativamente grandi se confrontati con i consumatori: pensiamo, per esempio, alle dimensioni spesso gigantesche degli alberi di una foresta. Al contrario, nell'ambiente acquatico i produttori sono, per gran parte, costituiti da alghe di grandezza microscopica, l'insieme delle quali prende il nome di FITOPLANCTON. Questa notevole differenza strutturale è giustificata dal fatto che gli "organismi verdi", per svolgere la loro funzione di sintesi, necessitano di luce; prerogativa che impone ai produttori terrestri di acquisire una struttura robusta in grado di sostenere l'apparato fogliare ad un'altezza più favorevole alla captazione della radiazione luminosa, mentre lo stesso problema impone ai produttori acquatici l'acquisizione di una struttura piccola e leggera per garantirsi la permanenza nelle zone più illuminate e cioè più prossime alla superficie.

Gli organismi definiti consumatori sono costituiti per gran parte da quelli che sono chiamati, in senso generale, gli animali. I consumatori si differenziano molto dagli altri componenti di un Ecosistema non solamente da un punto di vista funzionale, ma anche morfologico. L'attiva ricerca dell'alimento che essi devono svolgere, e la sua cattura, esigono il conseguente sviluppo di complesse strutture quali i sistemi sensorio, neuromotorio, respiratorio e circolatorio, ecc.

Il gruppo dei consumatori è, al suo interno, suddiviso in due livelli principali a seconda che gli organismi assumano l'alimento direttamente a livello dei produttori (animali ERBIVORI) o di altri consumatori (animali CARNIVORI) (vedi Fig. 5).

Gli organismi che abbiamo designato come decompositori (Batteri e Funghi) sono caratterizzati da estrema piccolezza e sono quasi incapaci di moto proprio. Essi vivono sommersi nel mezzo che deve essere demolito e traggono il loro fabbisogno energetico dall'assorbimento dei prodotti della decomposizione. Sono capaci di ritmi metabolici elevatissimi e la loro specializzazione è evidente più a livello biochimico che morfologico. Ne consegue che lo studio del ruolo da essi svolto nell'Ecosistema riveste particolare difficoltà, dovendo basarsi non sull'osservazione diretta ma sulla sola valutazione delle funzioni loro relative.

Concetto molto importante in Ecologia è quello di BIOMASSA. Con questo termine si intende il peso di tutti gli individui o degli individui appartenenti a singole specie o gruppi presenti in una certa unità spaziale di un Ecosistema. Per esempio, si potrà parlare della biomassa dei produttori, degli erbivori, dei crostacei intendendo, appunto, il peso complessivo degli organismi che, in un Ecosistema, occupano una determinata posizione o svolgono un particolare ruolo.

Il trasferimento di materiale organico sotto forma di alimento che, prendendo l'avvio dalle piante, passa attraverso una serie di organismi che mangiano e vengono mangiati, prende il nome di CATENA ALIMENTARE. Ad ogni passaggio si ha una perdita energetica pari all'80-90%. Questo significa che quanto più un organismo è lontano dall'inizio della catena tanto minore è la quantità di alimento a sua disposizione. I diversi livelli di utilizzazione dell'alimento prendono il nome di LIVELLI TROFICI. Tuttavia, non si può pensare che in questa classificazione sia possibile schematizzare i diversi aspetti di comportamento alimentare. Infatti, numerose specie animali possono, durante il loro ciclo vitale, occupare più di un livello; questo in risposta ad un cambiamento sia di esigenze sia di disponibilità alimentare. Per esempio il pesce persico si nutre di zooplancton, cioè è consumatore secondario, fino al raggiungimento della taglia di 12-14 centimetri, mentre passa successivamente a nutrirsi di altri pesci, cioè viene ad occupare la posizione di consumatore terziario.

Consideriamo il caso pratico di un Ecosistema di dimensioni contenute nel quale riconoscere i diversi componenti dei quali si è parlato. Analizziamo, a questo scopo, l'Ecosistema stagno (Fig. 6).



**Fig. 6.** Un piccolo ecosistema acquatico: lo stagno.

La sostanza inorganica più importante presente in questo Ecosistema è ovviamente l'acqua che non soltanto funge da supporto a tutte le forme di vita in esso esistenti, ma anche da mezzo solvente per quegli elementi chimici indispensabili alla vita stessa. Fra questi i principali sono ossigeno e anidride carbonica, le concentrazioni dei quali sono dipendenti dall'equilibrio con gli stessi gas presenti nell'atmosfera, dalla temperatura della massa d'acqua e dall'attività respiratoria e di fotosintesi operata dagli organismi viventi presenti nelle acque.

Inoltre, sono presenti elementi e composti, quali calcio, magnesio, bicarbonati, solfati, sodio e cloruri. Particolare importanza assumono alcuni composti inorganici presenti solitamente in quantità molto inferiore a quella degli elementi sopra elencati: si fa riferimento, in primo luogo, ai sali di azoto e di fosforo, comunemente indicati come NUTRIENTI, nonché a numerosi altri elementi quali ferro, manganese, rame, zinco, boro, silicio, molibdeno, vanadio e cobalto (MICROELEMENTI).

Tutte queste sostanze sono trasportate con le acque di dilavamento di origine meteorica che, scorrendo e infiltrandosi nel terreno circostante, giungono allo stagno. È quindi evidente che le caratteristiche chimiche (qualitative e quantitative) delle acque dello stagno sono in definitiva determinate dalla natura del territorio che lo circonda. Questa area, l'ampiezza della quale può essere molto variabile, viene denominata BACINO IMBRIFERO. È altrettanto evidente che la composizione in specie e il numero degli organismi produttori sono direttamente legati alla abbondanza ed al tipo di nutrienti chimici sopra identificati.

Nello stagno riconosciamo due tipi principali di organismi produttori; le piante macroscopiche, cioè piante con radici, fusto e foglie, lo sviluppo delle quali è però limitato ad acque poco profonde in quanto devono essere raggiunte dalla luce, pur rimanendo in contatto col sedimento di fondo dove affondano le radici; le piante microscopiche, cioè le alghe in genere, che costituiscono il FITOPLANCTON. Queste alghe microscopiche rimangono sospese nell'acqua e sono distribuite fino alla profondità alla quale arriva la luce. La presenza delle alghe è facilmente percepibile per il colore verde che assume l'acqua che le contiene in sospensione. Negli stagni profondi, così come negli ambienti acquatici molto più grandi quali laghi e mari, il Fitoplancton è il principale produttore di materiale organico.

I consumatori primari, cioè gli erbivori, che incontriamo nell'Ecosistema stagno sono principalmente di due tipi: lo ZOOPLANCTON (plancton animale), costituito da piccoli crostacei liberamente natanti nell'acqua, la funzione alimentare dei quali si esplica filtrando in continuazione acqua attraverso un particolare apparato boccale che trattiene le particelle algali; il BENTHOS, costituito da forme animali che vivono in costante rapporto col fondo (ad es. larve di Insetti, Vermi, Molluschi) e che si nutrono di piante o di resti di queste. Tra i Consumatori secondari, cioè i Carnivori che si nutrono di Consumatori primari, troviamo alcune larve di Insetti, Insetti adulti e Pesci. Alcune specie di pesci predatori ittiofagi possono costituire un altro anello della catena alimentare, quello dei Consumatori terziari.

Batteri, Flagellati e Funghi sono i principali organismi del gruppo dei decompositori. Essi sono presenti in tutta la massa d'acqua dello stagno, ma principalmente nella fanghiglia di fondo là dove, cioè, va accumulandosi detrito organico che questi micro-organismi convertiranno nuovamente in "nutrienti" per i Produttori (Fig. 7).

Confrontiamo, ora, l'Ecosistema stagno con un Ecosistema terrestre, per esempio il prato, in modo da verificare come organismi diversi, in ambienti diversi, compiano sostanzialmente le medesime funzioni e possano essere considerati come organismi vicarianti.

Infatti, la produzione primaria è qui sostenuta esclusivamente da piante erbacee e piccoli arbusti che svolgono le stesse funzioni del fitoplancton. Gli Insetti fitofaghi assolvono le funzioni dello zooplancton, mentre Uccelli e alcuni Mammiferi si comportano come i pesci, cioè come consumatori secondari.

Si è accennato in precedenza al fatto che le catene alimentari assicurano il riciclo della materia all'interno degli Ecosistemi e al contempo determinano un flusso di energia continuo dagli anelli più bassi a quelli più alti della catena alimentare. Converrà a questo punto, prima di iniziare l'analisi degli aspetti energetici del funzionamento di un Ecosistema, spendere qualche parola per ricordare alcuni concetti fondamentali riguardanti l'energia.

L'energia viene definita dalla Fisica come "la capacità di produrre lavoro" ed è regolata dalle leggi fondamentali della termodinamica. La prima legge

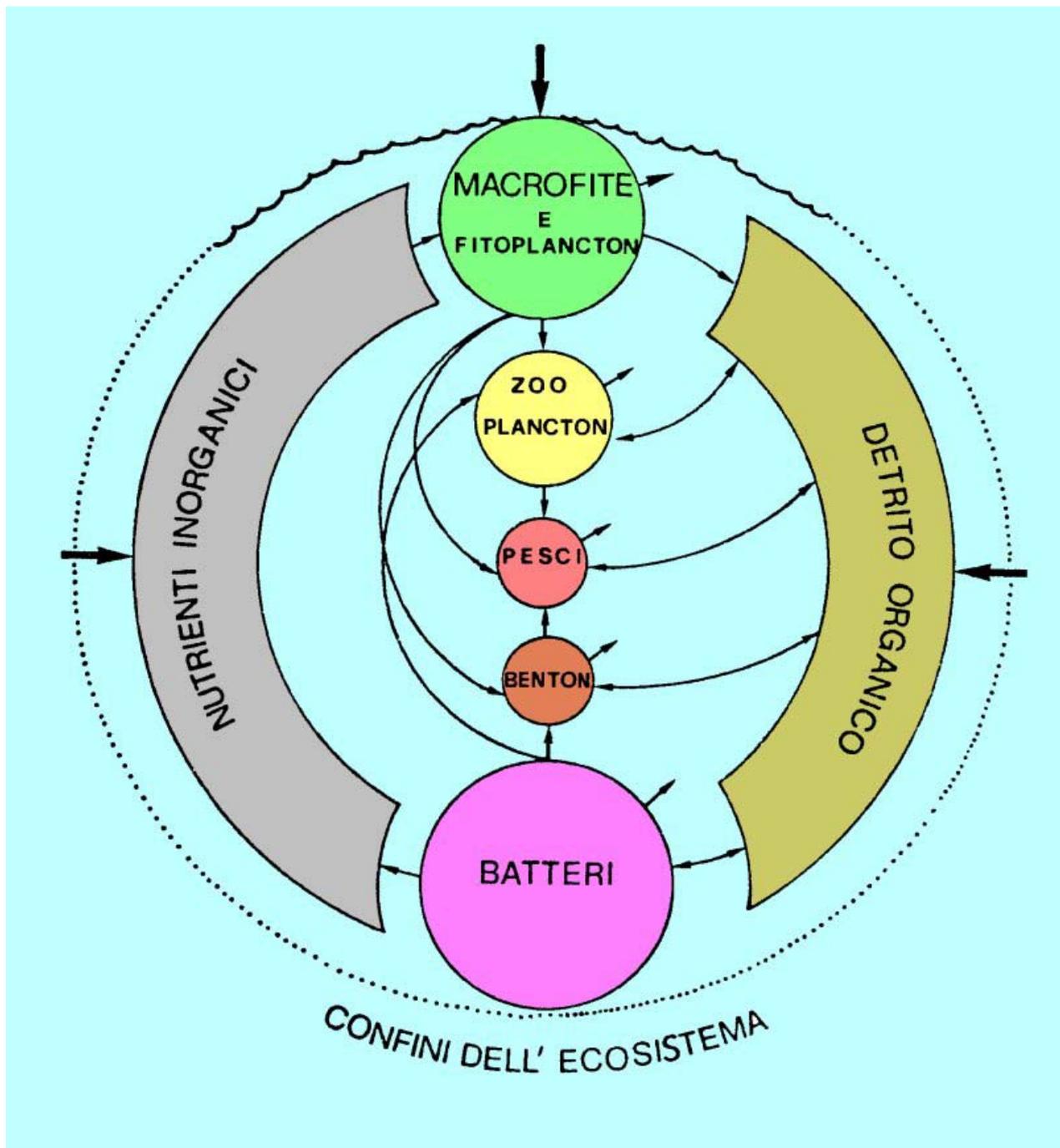


Fig. 7. Ciclo della materia in un ecosistema acquatico.

stabilisce che l'energia non può essere né creata né distrutta, ma solo trasformata. Per esempio, l'energia che ci proviene dal sole potrà essere trasformata in energia meccanica, in energia termica e, trasformazione che riguarda più direttamente l'argomento che stiamo trattando, in energia chimica. La seconda legge della termodinamica prevede che l'energia possa soltanto trasferirsi da un livello più alto ad uno più basso e mai viceversa. Questo non solamente significa che, per esempio, l'energia termica può passare da un corpo più caldo ad uno meno caldo e non potrà mai avvenire al contrario, ma anche che questo passaggio implica inevitabilmente una degradazione dell'energia stessa e che la sua utilizzazione non avrà mai una

efficienza pari al 100%. In realtà, ci renderemo conto tra breve che l'efficienza di utilizzazione dell'energia da parte degli organismi viventi è alquanto bassa.

Tutti gli organismi, per vivere, compiono lavoro e, quindi, necessitano di una sorgente di energia potenziale che possa essere utilizzata. Questa sorgente è costituita dall'energia chimica del cibo. Le diverse associazioni di atomi che costituiscono la materia possono essere rimaneggiate e gli atomi, entrando a far parte di nuove associazioni, possono liberare energia. Il sole, attraverso la trasmutazione nucleare di idrogeno in elio, libera energia che viene trasmessa alla terra sotto forma di onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda variabile tra l'infrarosso e l'ultravioletto; ed è ad essa che è legata la vita sulla terra.

Si è accennato che il "processo chiave" per mezzo del quale si ha produzione di materiale organico è rappresentato da una reazione chimica che avviene nelle piante verdi: la fotosintesi clorofilliana. Attraverso questa reazione, anidride carbonica, acqua ed energia luminosa vengono trasformate, in presenza di clorofilla associata a complessi sistemi enzimatici, in glucosio ed ossigeno. Il particolare che si vuole ora sottolineare è che, attraverso questa reazione, l'energia entra nell'Ecosistema subendo la conversione da energia luminosa in energia chimica, o, per usare un termine più aderente al suo destino, in "energia alimentare". Qual'è l'efficienza di questa conversione? L'utilizzazione media dell'energia solare incidente da parte di un'area coperta di piante durante il periodo vegetativo, cioè durante il periodo nel quale le piante sono pienamente funzionali, è dell'ordine dell'1%. Tale percentuale sale a circa il 2% se si tiene conto del fatto che, dell'energia luminosa visibile, viene utilizzata dal pigmento clorofilliano solo la frazione con lunghezza d'onda compresa fra i 400 e i 700 nanometri. Tuttavia, per quanto sia piccola la frazione di energia luminosa utilizzata, si è calcolato che, su scala mondiale, la produzione media annua di sostanza organica è di circa 150-200 miliardi di tonnellate in peso secco di materiale organico.

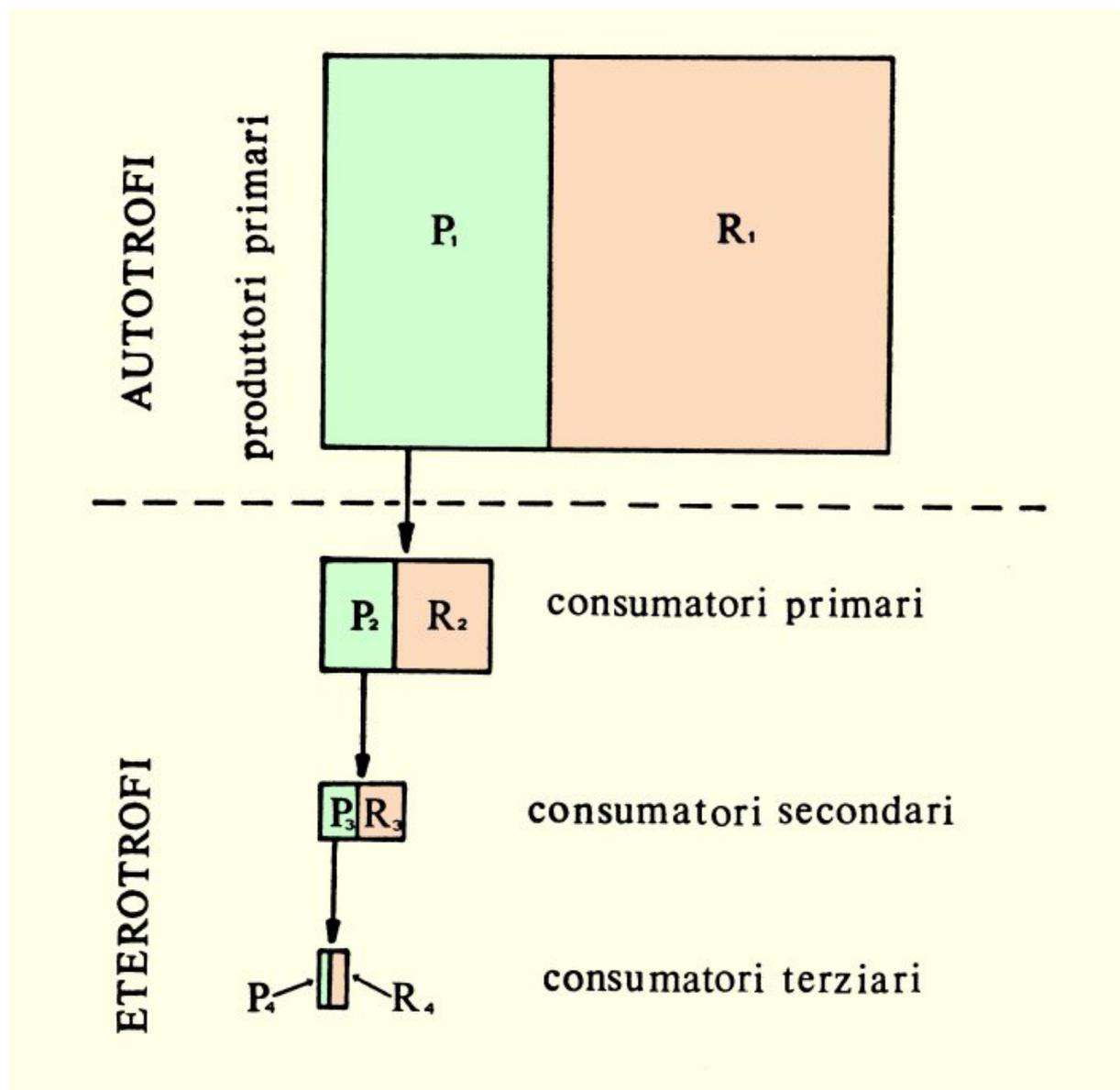
Anche i produttori, come tutti i viventi, per svolgere le loro funzioni vitali consumano energia, cioè respirano. La respirazione, da un punto di vista strettamente biologico, è la reazione chimica inversa della fotosintesi. Infatti, in essa glucosio e ossigeno reagiscono per dare anidride carbonica e acqua liberando energia; quella stessa energia che, proveniente dal sole, è stata racchiusa nella molecola di glucosio e che ora, con la respirazione, viene in parte dispersa sotto forma di calore. Più della metà dell'energia fissata con la fotosintesi viene immediatamente consumata dalla pianta con la respirazione; la parte rimanente è utilizzata per l'accrescimento e la riproduzione, rimanendo così sotto forma di energia potenziale alimentare, a disposizione degli organismi eterotrofi.

Riassumiamo brevemente, schematizzandoli, i concetti esposti. Il totale dell'energia luminosa fissata da una pianta in un determinato intervallo di tempo è chiamato **PRODUZIONE PRIMARIA LORDA**. L'energia che rimane, al netto della respirazione, è la **PRODUZIONE PRIMARIA NETTA**. La crescita della pianta si può misurare come produzione netta e si può esprimere sia

come quantità di energia immagazzinata, sia come biomassa. Se estendiamo ora questo bilancio energetico all'intera comunità di un Ecosistema, includendo anche i Consumatori e i Decompositori, dovremo aggiungere una nuova unità di respirazione senza che sia possibile introdurre altre fonti di produzione. In questo bilancio energetico totale riferito all'intero Ecosistema avremo, quindi, che la produzione netta sarà uguale alla produzione lorda realizzata dagli organismi autotrofi, diminuita della somma della respirazione di tutti gli organismi sia autotrofi che eterotrofi. Le informazioni che si possono trarre da questa equazione, applicata al bilancio energetico di un Ecosistema, sono molto importanti al fine della valutazione del livello di maturità dell'Ecosistema stesso. Infatti, quando la respirazione totale è inferiore alla produzione lorda (realizzandosi quindi una effettiva produzione netta) si parlerà di Ecosistema in evoluzione. Ciò significa che, in un Sistema Ecologico di questo tipo, esistono ancora possibilità di sfruttamento da parte dei consumatori i quali tenderanno a bilanciare la situazione mediante un aumento numerico delle popolazioni animali presenti, oppure con l'insediamento di nuove specie. Usando una terminologia più appropriata diremo che questo è un Ecosistema nel quale si sta verificando una "successione ecologica". Qualora dal computo energetico globale risultasse, invece, che la respirazione uguaglia la produzione lorda, ci troveremo di fronte ad un Ecosistema maturo o CLIMAX. In un Sistema Climax, tutta l'energia fissata viene utilizzata; la produzione netta scende a zero: non rimane alcun accumulo annuo netto di materiale organico. Il Climax è teoricamente un Sistema in equilibrio che, quindi, ha nella sua stessa struttura il presupposto di una continuità nel tempo (Fig. 8).

Da quanto si è appena detto risulta che l'Ecosistema è una entità, la struttura della quale è in continua evoluzione e tende al raggiungimento di un equilibrio che, tuttavia, non può essere considerato definitivamente stabile. Vediamone le ragioni. Lo sviluppo di un Ecosistema è determinato sostanzialmente da una successione di comunità biotiche ciascuna delle quali determina piccole modificazioni, sia dell'ambiente fisico sia dei flussi energetici, tali da favorire l'insediamento di nuove comunità sempre più specializzate nella completa utilizzazione delle risorse ambientali. Questo significa che le comunità dei produttori tenderanno ad ottimizzare lo sfruttamento di: luce, acqua, anidride carbonica, sali nutritivi; mentre le comunità dei consumatori e decompositori tenderanno ad acquisire una complessità tale da sfruttare completamente le risorse energetiche offerte loro dai Produttori. Si può comprendere, a questo punto, come una particolare vicenda climatica che può essere rappresentata da una siccità o da una piovosità fuori dall'usuale, oppure da un inverno eccezionalmente freddo e lungo, possa incidere anche drasticamente sulle comunità e quindi sulla stabilità di un Ecosistema maturo.

Facciamo ora un breve accenno al problema del trasferimento dell'energia da un livello trofico all'altro al fine di rispondere alla domanda: quanti consumatori possono vivere a spese dei Produttori senza che questi abbiano



**Fig. 8.** Schema di bilancio energetico di un ecosistema. P, produzione netta; R, respirazione rispettivamente ai diversi livelli.

a soffrire gravi conseguenze? Il ricercatore Raymond Lindeman, attingendo in parte a lavori di precedenti studiosi, giunse alla formulazione di una legge che stabilisce i rapporti quantitativi che devono intercorrere tra i diversi utenti dell'energia fissata dai produttori, a mano a mano che essa viene ripartita tra le diverse popolazioni di un Ecosistema. Questa legge, pur riconoscendo che la quantità effettiva di energia trasferita da un livello trofico ad un altro può variare di molto, afferma che, nella catena alimentare dei consumatori, il 10-20% dell'energia fissata dalla comunità vegetale può essere trasferita agli erbivori, il 10-20% dell'energia che entra nella comunità degli erbivori può essere trasferita al primo livello dei carnivori e così via. In tal modo un Ecosistema può comprendere, come si è già avuto modo di accennare, tre o quattro livelli di popolazioni animali, ognuna quantitativamente correlata alla propria fonte alimentare sulla base dell'energia fissata.

Quanto si è detto lascia intravedere una progressiva diminuzione della disponibilità energetica man mano che si procede lungo una qualsivoglia catena alimentare. Tutti gli Ecosistemi appaiono così organizzati in una struttura piramidale alla base della quale stanno i produttori ed al vertice l'ultimo anello dei consumatori. È chiaro che il numero dei gradini che formano questa piramide corrisponde al numero dei livelli trofici o, se si preferisce, al numero di anelli della catena alimentare. Questa piramide può essere costruita sia che si consideri il numero di organismi che appartengono ai diversi livelli trofici, sia che si considerino le loro biomasse, oppure, come abbiamo già visto, il contenuto energetico dei vari livelli.

Questa visione piramidale dell'organizzazione trofica di un Ecosistema è dovuta al ricercatore Charles Elton che, nel 1927, scriveva: Gli animali che stanno alla base di una catena alimentare sono relativamente più numerosi rispetto a quelli degli anelli successivi, c'è quindi, una progressiva diminuzione del numero di individui tra i due estremi della catena. Per renderci conto di quanto sia vero questo semplice enunciato che tanto peso ha avuto nello sviluppo successivo dell'Ecologia, basti pensare al numero di gazzelle (erbivori) e a quello di gran lunga inferiore dei leoni (predatori carnivori) in un Ecosistema quale la Savana. La piramide dei numeri si ritrova, nelle sue strutture fondamentali, in tutti gli Ecosistemi.

Prima di concludere questa parte generale diamo un rapido sguardo ai fattori che regolano o limitano la produzione. È forse banale ricordare che un organismo o una popolazione necessitano, per accrescersi, di nutrimento. Questa osservazione, tuttavia, acquista ben diverso significato quando affermiamo che la crescita di un organismo o di una popolazione è determinata dalla quantità di nutrienti a disposizione, o meglio, secondo quanto enunciato nella legge dei minimi: "la crescita è legata alla quantità del nutriente presente in quantità minore".

La crescita di una popolazione, tuttavia, può essere limitata non soltanto dalla scarsità di un solo nutriente tra tutti quelli che le sono indispensabili, ma anche dalla situazione opposta. Vale a dire, la concentrazione troppo elevata di un nutriente o l'intensità troppo alta di un determinato fattore fisico o climatico può produrre lo stesso effetto inibente. Ad esempio, l'anidride carbonica, è un elemento essenziale per l'accrescimento delle piante; piccoli aumenti nella concentrazione di questo composto nell'atmosfera inducono un incremento del tasso di accrescimento delle piante. Tuttavia, un aumento troppo elevato risulta tossico ed inibisce la loro crescita.

Il concetto che un elemento od un fattore ambientale, sia a livelli minimi che massimi, possa essere limitante la crescita di un organismo o di una intera popolazione è esposto nella legge di Shelford. Secondo questa legge: "ciascun elemento essenziale o fattore ambientale al quale un organismo è sensibile ha un effetto limitante al di fuori di un ambito di variazione che viene chiamato limite di tolleranza". In altre parole, esistono dei limiti superiori ed inferiori di ciascun elemento essenziale e fattore ambientale indispensabile per una certa popolazione entro i quali questa può svilupparsi.

## 5. RITRATTO ECOLOGICO DI UN LAGO

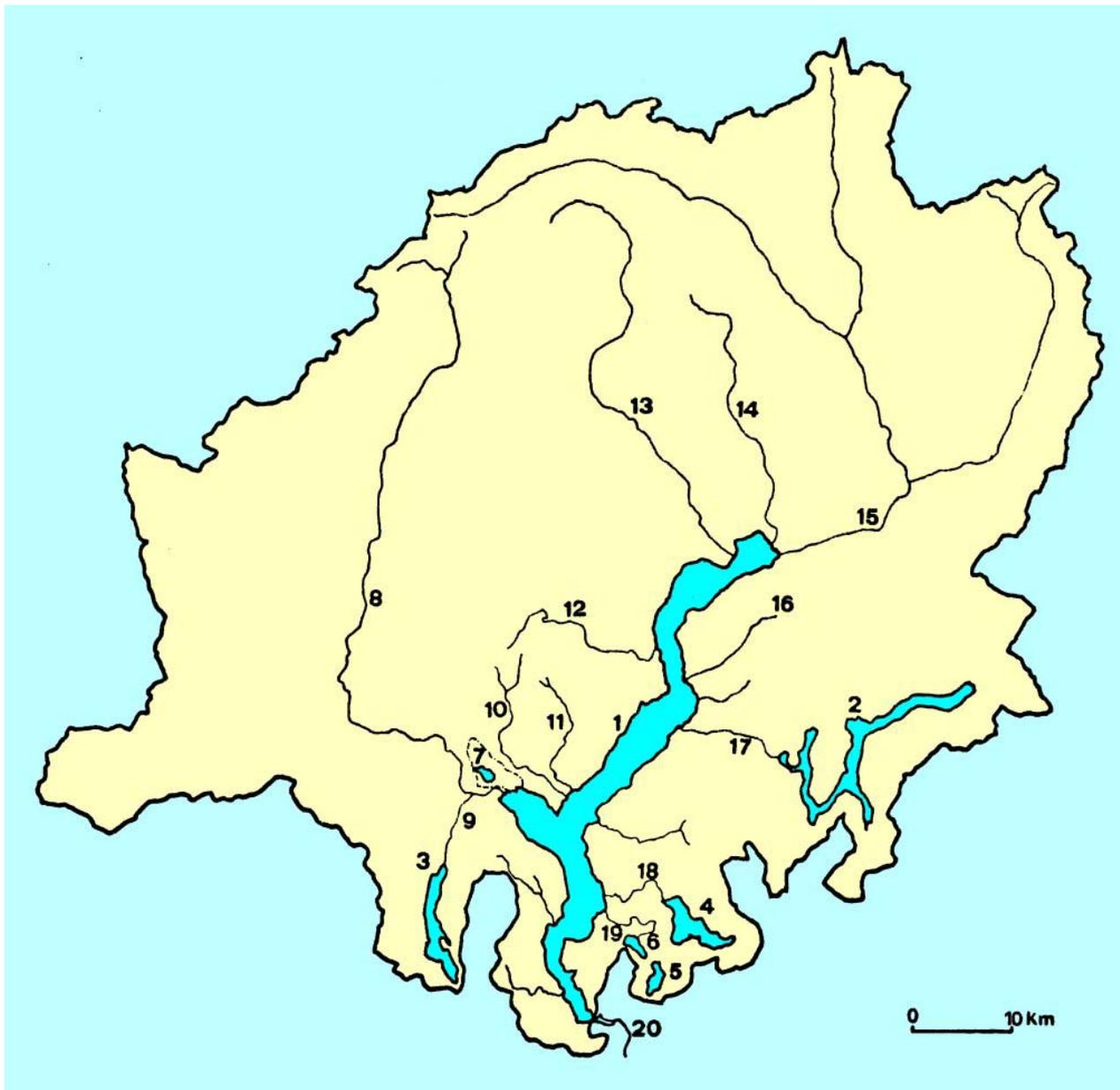
Vediamo ora di trovare la verifica dei concetti generali fin qui esposti, considerando con maggior dettaglio l'ambiente lacustre. Iniziamo dalle COMPONENTI ABIOTICHE, richiamando ancora l'importanza che, tra queste, riveste il regime climatico dell'area geografica nella quale si inserisce il lago. Temperatura, piovosità, ventosità, radiazione luminosa, infatti, unitamente alle caratteristiche morfologiche e geologiche del bacino imbrifero di un lago e del lago stesso, giocano un ruolo determinante nel favorire l'intensità dello sviluppo degli organismi viventi. Alcuni esempi serviranno a meglio illustrare la relazione che lega la natura del bacino imbrifero e le caratteristiche chimiche di un lago.

Il bacino imbrifero del Lago di Mergozzo (Fig. 9), di limitate dimensioni (8,61 km<sup>2</sup>), è prevalentemente formato da rocce granitiche e metamorfiche, poco solubili. Le acque piovane operano un attacco chimico su questi materiali che si può ritenere modesto. Come conseguenza si ha che le concentrazioni di calcio, magnesio, bicarbonati e solfati nel Lago di Mergozzo risultano essere basse. Il bacino imbrifero del Lago Maggiore (Fig. 9) ha una estensione enormemente superiore (6.600 km<sup>2</sup>) e presenta, insieme a rocce poco solubili (graniti, gneiss, filliti e scisti) alcune rocce calcaree più facilmente solubili. Il risultato, in termini di chimismo delle acque del Lago Maggiore, è una concentrazione dei composti prima elencati pari a circa 2,5 volte quella riscontrata nel Lago di Mergozzo. Nel caso del Lago di Garda, infine, il bacino imbrifero (2.350 km<sup>2</sup>) è costituito quasi interamente da rocce calcaree; le acque di questo lago presentano, di conseguenza, concentrazioni circa cinque volte superiori a quelle del Mergozzo.

L'azoto è un elemento chimico comunemente presente nelle acque, soprattutto sotto forma di azoto nitrico ed ammoniacale. Esso viene portato al lago direttamente con la pioggia (determinazioni compiute hanno mostrato che con la pioggia possono cadere, mediamente in un anno, 7 chilogrammi di azoto per ettaro) o con le acque di drenaggio del bacino imbrifero che disciolgono sali di azoto da terreni ricchi di humus e da terreni agricoli sempre abbondantemente fertilizzati con complessi azotati. I composti inorganici dell'azoto sono utilizzati dai vegetali (alghe e piante acquatiche) per la costruzione delle complesse molecole proteiche che costituiscono parte integrante della loro struttura e fonte di approvvigionamento di azoto per il mondo animale. In generale, la forma più stabile dell'azoto (cioè l'azoto nitrico) si trova nelle acque più superficiali, ben ossigenate, mentre l'azoto ammoniacale è presente nelle acque più profonde e povere di ossigeno.

Il fosforo è uno degli elementi meno abbondanti nelle acque, e questo è in contrasto con il fatto che esso occupa, nella scala di importanza per gli organismi viventi, una delle primissime posizioni. Spesso questo elemento rappresenta quindi un fattore limitante della crescita, tanto è vero che la sua concentrazione relativa negli organismi e nelle loro spoglie è molto più grande che non nel mezzo acqueo. Il fosforo entra nei cicli biologici soltanto

sotto forma di composto altamente ossidato, cioè sotto forma di ortofosfato e suoi derivati. Gli ortofosfati sono soggetti nelle acque a variazioni stagionali di concentrazione, nonché a stratificazioni verticali. In generale, si osserva che i fosfati inorganici solubili scompaiono e sono presenti solo in tracce nelle acque più superficiali al principio dell'autunno, per il consumo fattone dagli organismi, vivacemente riprodottisi durante l'estate. Per contro, nello stesso periodo, si ha un suo progressivo aumento di concentrazione nelle acque più profonde.



**Fig. 9.** Bacino imbrifero del Lago Maggiore e sub-bacino del Lago di Mergozzo (7). **1** Lago Maggiore; **2** Lago di Lugano; **3** Lago d'Orta; **4** Lago di Varese; **5** Lago di Comabbio; **6** Lago di Monate; **7** Lago di Mergozzo e, in tratteggio, i confini del suo bacino imbrifero; **8** Fiume Toce; **9** Fiume Strona; **10** Fiume S. Bernardino; **11** Fiume S. Giovanni; **12** Fiume Cannobino; **13** Fiume Maggia; **14** Fiume Verzasca; **15** Fiume Ticino Immissario; **16** Fiume Giona; **17** Fiume Tresa; **18** Fiume Bardello; **19** Fiume Acquanera; **20** Fiume Ticino Emissario.

È facile comprendere a questo punto che un indiscriminato apporto di fosforo (ed anche di azoto) al lago dal suo bacino imbrifero - fatto questo che si verifica da alcuni decenni a causa della radicale trasformazione delle attività umane imputabile all'inurbamento e all'industrializzazione - ha determinato e determina gravi squilibri nella produzione biologica della gran parte dei bacini lacustri, dando luogo al fenomeno che tecnicamente è indicato come EUTROFIZZAZIONE.

Consideriamo ora gli organismi viventi (COMPONENTE BIOTICA) dell'Ecosistema lago, ricordando prima di tutto brevemente quali sono le zone funzionali nelle quali può essere suddiviso un lago. In un lago possiamo distinguere uno STRATO EUFOTICO (Fig. 4) che comprende tutto lo specchio d'acqua fino a quella profondità, diversa da ambiente ad ambiente, alla quale arriva radiazione solare, in quantità e con caratteristiche tali da permettere i processi fotosintetici. Lo strato eufotico interessa sia la zona litorale sia quella pelagica. La ZONA LITORALE si sviluppa lungo tutta la linea di costa, delimitata al largo dalla stessa profondità cui arriva lo strato eufotico. Caratteristica di questa zona è l'insediamento delle piante acquatiche sommerse che possono costituire una vera e propria fascia lungo la costa. Al largo della zona litorale si trova quella che abbiamo indicato come ZONA PELAGICA, che si estende su tutta la restante superficie del lago con uno spessore uguale a quello dello strato eufotico.

In laghi sufficientemente profondi, dove la radiazione solare non giunge sino alle massime profondità, abbiamo poi una ZONA AFOTICA dalla quale è esclusa la vita vegetale (Fig. 4). A questa suddivisione per habitat si adatta, più o meno strettamente, una suddivisione degli organismi acquatici basata sulle caratteristiche fondamentali del loro comportamento o modo di vita. Si possono così riconoscere tre gruppi fondamentali:

- il PLANCTON è il complesso di organismi animali (zooplancton) e vegetali (fitoplancton) che vivono principalmente nella zona eufotica. Si tratta di una comunità composta di organismi appartenenti a diversi gruppi sistematici caratterizzati, in genere, da dimensioni microscopiche e provvisti di strutture che facilitano il loro galleggiamento. In generale non posseggono efficienti mezzi di locomozione e seguono passivamente i movimenti della massa d'acqua che li ospita;
- il secondo importante gruppo è quello del BENTHOS, cioè quella comunità assai complessa, sia da un punto di vista sistematico sia per gli adattamenti funzionali, che vive in stretto rapporto con i sedimenti di fondo. In relazione alle diverse caratteristiche ambientali determinate dal diverso tipo di sedimento e dalla qualità dell'acqua ad essi immediatamente sovrastante, questa comunità presenta grandi differenze in rapporto alla profondità. Possiamo così distinguere un benthos litorale, sublitorale, profondo e abissale;

- infine, un gruppo a sè è costituito dalla fauna ittica che può essere indicata anche col nome di NECTON, nel quale vengono inclusi anche tutti gli altri organismi animali che, come i pesci, sono in grado di compiere trasferimenti autonomi.

Consideriamo ora con maggior dettaglio queste comunità, iniziando dal popolamento planctonico. Innanzi tutto facciamo una considerazione: il plancton, in quanto associazione di organismi animali e vegetali, può essere considerato, entro certi limiti, come una comunità autosufficiente dalla quale dipendono, in larga misura, le altre due comunità: benthos e fauna ittica.

Le principali caratteristiche degli organismi planctonici sono legate a quelle che abbiamo visto essere le proprietà dell'ambiente da essi colonizzato: l'acqua. Tra queste rivestono un carattere di peculiarità quegli adattamenti morfologici e fisiologici, selezionati dall'evoluzione, che conferiscono a questi organismi spiccate capacità di galleggiamento.

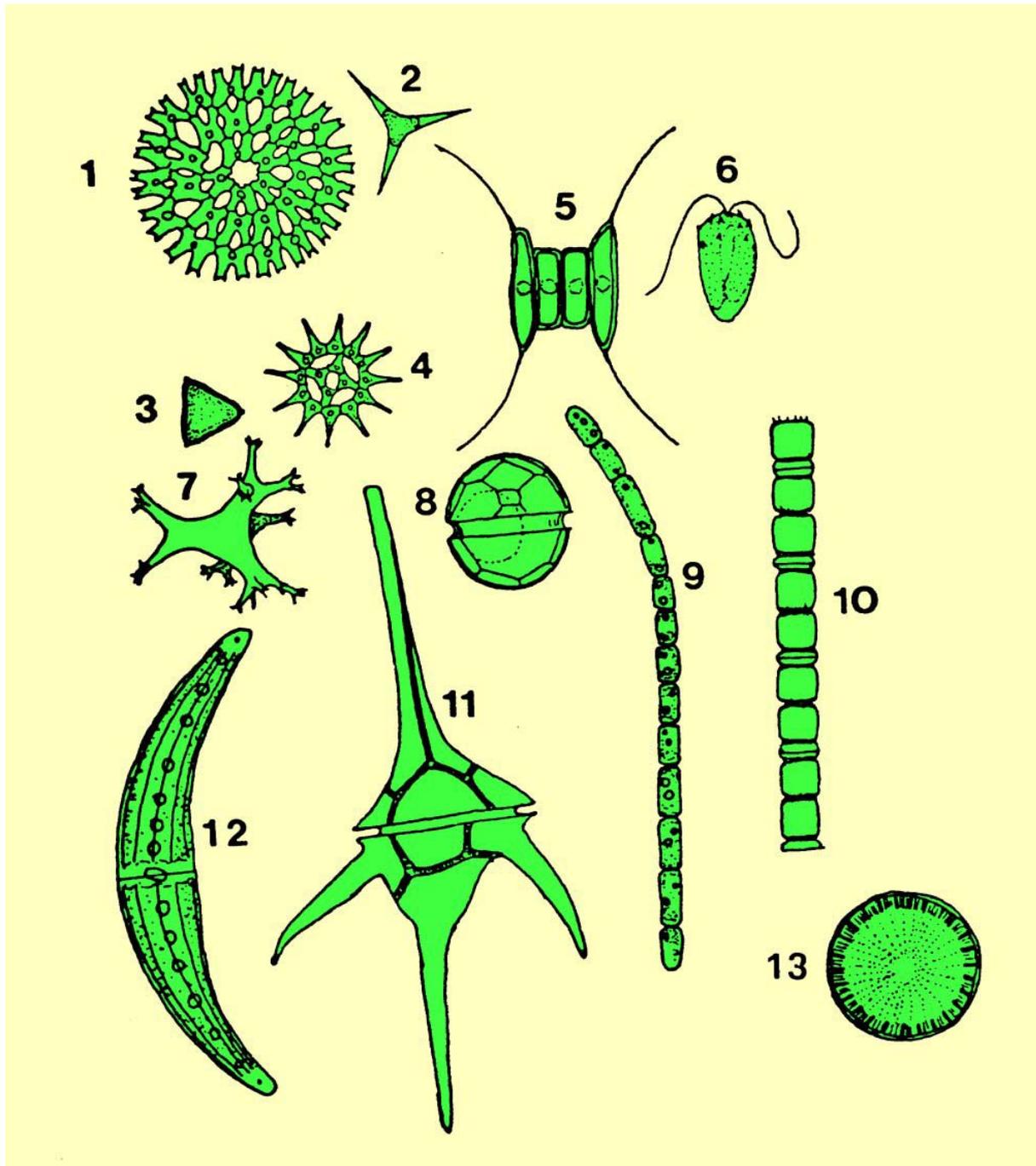
Animali e vegetali planctonici, infatti, sprovvisti come sono di efficienti mezzi di locomozione, tendono generalmente a cadere lentamente verso il fondo. Tale situazione è, in massima parte, dovuta al maggior peso dell'organismo rispetto a quello del volume d'acqua spostato. Di qui la necessità di perfezionare strutture che ne riducano il peso specifico e ne favoriscano il galleggiamento. Ad esempio, in molti di essi, particolari guaine gelatinose, che posseggono quasi la stessa densità dell'acqua, ne riducono la gravità specifica. In altri, una maggiore attitudine al galleggiamento è ottenuta attraverso l'accumulo di acqua, di gas o di goccioline di grasso dentro al corpo o esternamente, in vescicole gelatinose.

Il FITOPLANCTON è costituito da organismi vegetali unicellulari o coloniali, con dimensioni di pochi millesimi di millimetro, chiamati comunemente alghe. Strabiliante è la varietà di forme che caratterizzano le alghe fitoplanctoniche, tanto che possono fare esclamare di meraviglia chi si accosti per la prima volta ad osservare al microscopio un campione d'acqua di lago. Spine, ornamentazioni varie e l'eleganza di certe strutture fanno pensare ad un mondo fantastico. La quasi totalità degli organismi fitoplanctonici appartiene ai gruppi delle Diatomee, Dinoflagellati, Cloroficee e Cianoficee.

Caratteristica fondamentale delle Diatomee è rappresentata dal fatto che il corpo cellulare è racchiuso tra due teche silicee che si inseriscono una sull'altra come una scatola con il suo coperchio. Questa caratteristica fa sì che le loro esigenze nutritive comprendano, oltre ai già citati sali di azoto e di fosforo, anche la silice in forma solubile. In alcuni ambienti, anzi, la scarsità di silice può essere addirittura determinante nel precludere l'insediamento di diatomee o, quanto meno, nel regolarne la densità di popolazione. Appartengono a questo gruppo sia forme unicellulari quali *Synedra* e *Cyclotella*, sia forme coloniali quali *Asterionella*, tipica per la sua forma stellata, e *Melosira* (Fig. 10).

I Dinoflagellati sono alghe per lo più unicellulari con una corazza più o meno spessa e dotata di multiformi ornamentazioni. La caratteristica

presenza di due flagelli consente loro limitati movimenti. Si ricorda, tra gli appartenenti a questo gruppo, il *Glenodinium sanguineum* che, in certi periodi dell'anno, quando è particolarmente abbondante, colora di rosso le acque di alcuni laghi. Tipico esempio dell'arrossamento delle acque dovuto a *Glenodinium* è quello del Lago di Tovel in Trentino, anche se, da alcuni anni, questo fenomeno non si verifica più.



**Fig. 10.** Alcuni organismi algali dell'ambiente lacustre (tra parentesi gli ingrandimenti). 1 *Pediastrum biradiatum* (330); 2 *Tetraëdron trigonum* var. *setigerum* (500); 3 *Tetraëdron trigonum* var. *papilliferum* (670); 4 *Pediatrum simplex* (230); 5 *Scenedesmus protuberans* (600), 6 *Synura uvella* (1000); 7 *Tetraëdron limneticum* (670); 8 *Glenodinium gymnodium* (640); 9 *Oscillatoria* (1000); 10 *Melosira* (1000); 11 *Ceratium hirundinella* (500); 12 *Closterium malinvernianiformae* (300); 13 *Cyclotella comta* (2000).

Simili alle piante superiori per i pigmenti che le caratterizzano e per le sostanze che elaborano sono le alghe che appartengono al gruppo delle Cloroficee, siano esse unicellulari come la *Chlorella* o coloniali come l'elegantissimo *Volvox*. Per concludere questo elenco non resta che da parlare delle tristemente famose Cianoficee, comunemente chiamate anche alghe verdi-azzurre per il colore dei loro pigmenti. La cattiva fama che le alghe appartenenti a questo gruppo hanno è dovuta al fatto che, benché non siano da considerare organismi indicatori di inquinamento organico, quasi sempre, in tale condizione, manifestano una crescita lussureggiante come nel caso di *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Microcystis*, ecc. (Fig. 10).

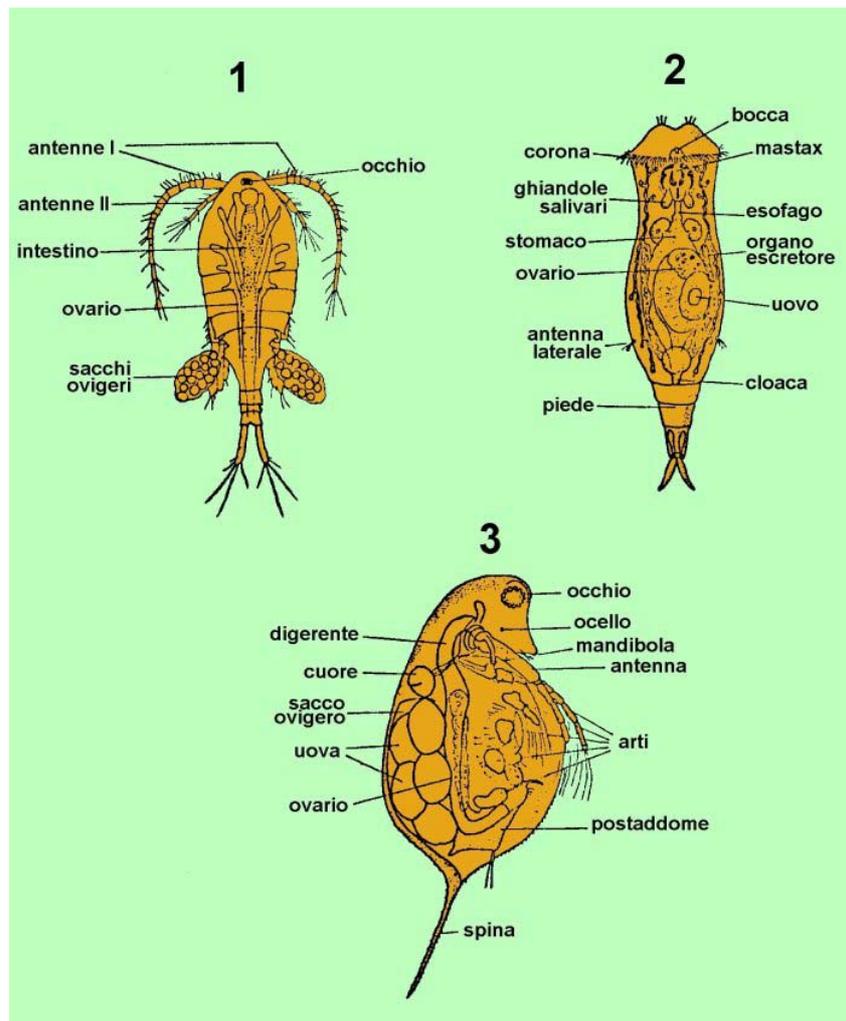
Il popolamento fitoplanctonico di laghi diversi è spesso molto differente, anche quando le condizioni ambientali ed il chimismo dell'acqua siano essenzialmente simili. Vi sono, tuttavia, tipi di popolamento ben definiti, in evidente rapporto con le caratteristiche chimiche delle acque. Infatti, il fitoplancton di laghi ricchi in sostanze nutritive (azoto e fosforo) è, di solito, qualitativamente differente e quantitativamente più abbondante di quello che vive in ambienti poveri di sostanze nutritive. L'analisi della struttura dei popolamenti fitoplanctonici offre quindi utili indicazioni per valutare il grado di inquinamento di un ambiente lacustre.

L'osservazione dei popolamenti fitoplanctonici di un qualunque ambiente lacustre nelle diverse stagioni dell'anno mette in risalto rilevanti differenze nelle densità dei vari gruppi che lo rappresentano. Si osserva infatti che alcuni gruppi algali sono molto abbondanti in certe stagioni, altri in altre; questo dà luogo a una successione stagionale dei vari popolamenti.

Se nei grandi laghi profondi il fitoplancton rappresenta il gruppo di organismi che principalmente assolve il compito di produrre, attraverso la sintesi clorofilliana, materiale organico, non si deve dimenticare che questa funzione è svolta anche dalle piante acquatiche; anzi, nei laghi poco profondi come ad esempio il Lago Trasimeno l'importanza delle piante acquatiche come produttori può essere rilevante ed in certi casi superiore a quella stessa del fitoplancton.

Tra il plancton animale (ZOOPLANCTON) sono variamente rappresentati tre gruppi zoologici: Protozoi, Rotiferi e Crostacei.

I PROTOZOI sono organismi unicellulari con dimensioni dell'ordine di poche decine o centinaia di millesimi di millimetro. Questi organismi, anche se dotati di movimenti autonomi hanno dimensioni talmente piccole che i loro spostamenti nella massa d'acqua lacustre sono del tutto irrilevanti. I ROTIFERI sono animali pluricellulari, con dimensioni che raramente raggiungono il mezzo millimetro. Il loro nome è dovuto al fatto che attorno alla bocca presentano una corona di "cilia" che, muovendosi vorticosamente, dà l'impressione di un'elica o di una ruota in movimento vorticoso (Fig. 11). Oltre a servire per convogliare il cibo nella bocca e come organo di locomozione, la corona di cilia rinnova, con il suo movimento, l'acqua attorno al corpo dell'animale, assicurando il rifornimento di ossigeno per la respirazione e facilitando la rimozione dei prodotti di rifiuto.



**Fig. 11.** Anatomia di alcuni organismi zooplanctonici: **1** Copepode (*Cyclops*); **2** Rotifero (*Euchlanis*); **3** Cladocero (*Daphnia*).

Il terzo e più importante gruppo che ritroviamo come componente costante del popolamento zooplanctonico è quello dei CROSTACE distinguibili in due sottogruppi: CLADOCERI e COPEPODI (Fig. 11). Questi organismi costituiscono, nell'Ecosistema lago, i più importanti consumatori primari.

Per descrivere la struttura dei Cladoceri e le loro caratteristiche biologiche, prenderemo come esempio la *Daphnia*, comunemente detta "pulce d'acqua", quale loro più tipico rappresentante. La struttura fondamentale del corpo è costituita da due valve entro le quali trovano posto, oltre agli arti, anche tutti gli apparati (circolatorio, riproduttore, digerente) ad eccezione del capo e di due paia di antenne, le più lunghe delle quali servono alla locomozione. Le due valve sono aperte ventralmente a formare un canale entro il quale viene convogliato, dal movimento dell'animale, un continuo flusso d'acqua ricco di particelle alimentari. Quest'acqua viene filtrata su una serie di sete, poste a spazzola, capaci di trattenere le alghe delle quali questi organismi si nutrono (Fig. 11). Nei Cladoceri la riproduzione è di regola partenogenetica, cioè avviene senza l'intervento della fecondazione da parte dei maschi, che compaiono soltanto in determinate circostanze. Caratteristica comune dei

Cladoceri è quella di incubare le uova in una camera dorsale, entro la quale esse compiono l'intero sviluppo. Alla nascita, i giovani non differiscono nell'aspetto dagli adulti se non per le minori dimensioni. L'accrescimento, come in tutti i Crostacei, avviene per mute successive.

Il fatto che la riproduzione avvenga nella maniera descritta, che ogni femmina adulta possa produrre fino a 30-40 uova per volta e che l'età di riproduzione venga raggiunta in tempi brevi (7-8 giorni), fa sì che i Cladoceri possano aumentare molto rapidamente in densità, fatto che risulta spesso di grande vantaggio.

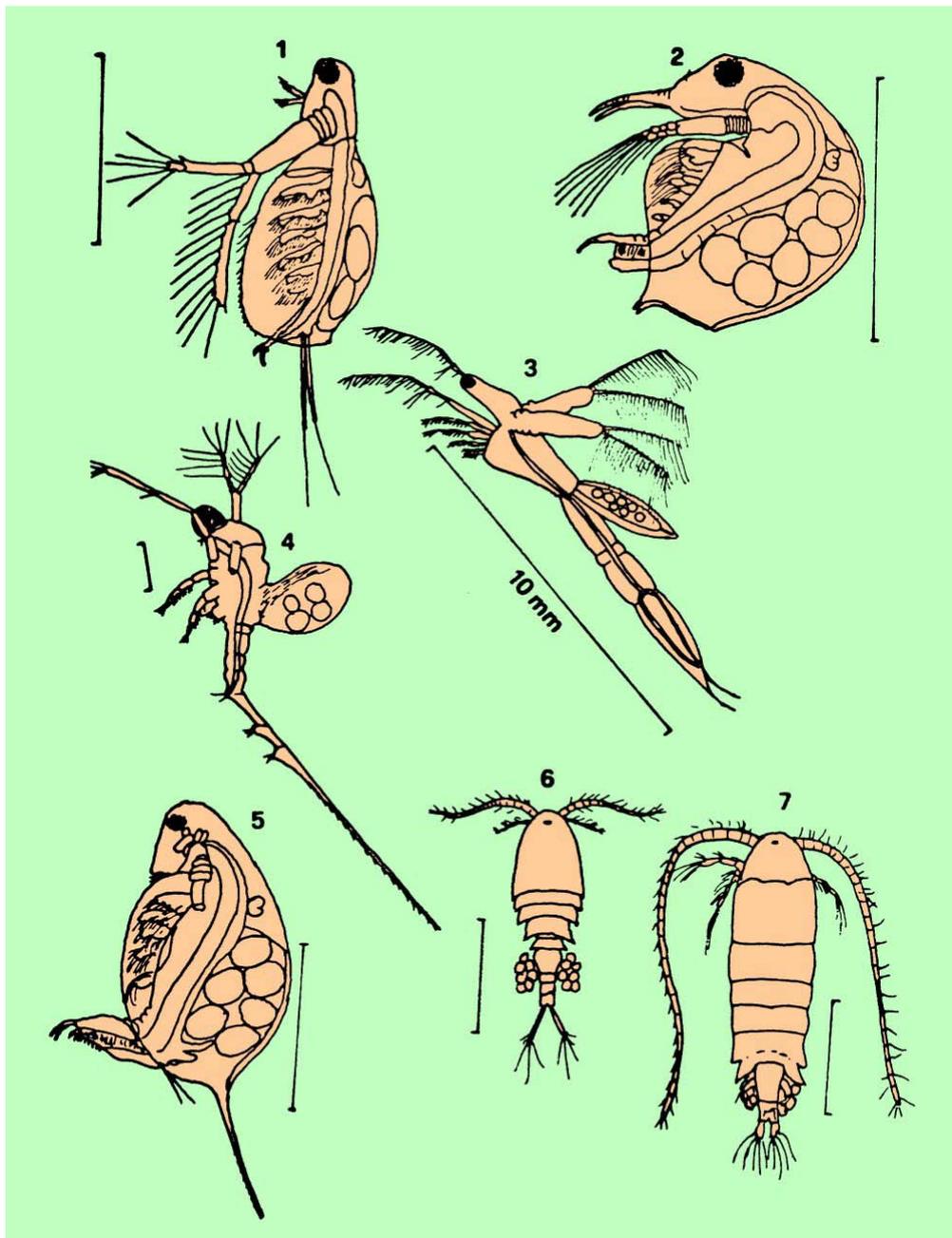
I Cladoceri, come si è detto, sono generalmente fitofagi filtratori e raggiungono dimensioni dell'ordine di pochi millimetri; tuttavia, alcuni di essi, come *Leptodora* (Fig. 12), sono invece predatori e possono raggiungere anche dimensioni di 7-8 millimetri.

I COPEPODI sono rappresentati comunemente da DIAPTOMIDI e da CICLOPIDI (Fig. 11 e 12), i primi fitofagi durante l'intera loro vita, i secondi fitofagi negli stadi giovanili e predatori da adulti. Le loro popolazioni, a differenza di quelle dei Cladoceri, sono composte da maschi e femmine e la riproduzione avviene attraverso la fecondazione delle uova da parte del maschio. Il loro corpo, generalmente a forma di pera negli adulti, appare suddiviso in segmenti sui quali si inseriscono arti e antenne, ed è proprio il movimento di queste ultime che permette loro la locomozione.

Le uova sono portate dalle femmine entro sacchetti ovigeri, due nei Ciclopidi e uno nei Diaptomidi, attaccati al corpo della madre. Dall'uovo si sviluppa una larva che ha, grosso modo, la forma di un piccolo ragno. Questa, abbandonato il sacchetto ovigero, conduce vita indipendente e attraverso undici stadi di sviluppo, in 40-60 giorni, diventa adulto.

I Cladoceri, salvo rare circostanze, sono in generale tipici della stagione calda. Alle nostre latitudini, le loro popolazioni aumentano in densità durante la primavera e perdurano fino verso la fine dell'autunno. Lo sviluppo primaverile viene favorito sia dall'aumento della temperatura delle acque lacustri, sia dall'abbondanza, in questo periodo, delle Cloroficee che costituiscono il loro alimento preferito. Per quanto riguarda i Copepodi, possiamo dire che in essi sono ugualmente rappresentate specie che preferiscono basse temperature ed altre che prediligono temperature più elevate. È quindi impossibile identificare in una stagione il periodo di massimo sviluppo di tutti i Copepodi; converrà pertanto fare alcune distinzioni. Tra le specie che prediligono le acque fredde ricordiamo *Cyclops abyssorum*, un Ciclopide abitatore comune delle acque dei nostri laghi durante l'inverno. La necessità di basse temperature per la sopravvivenza di queste specie è tale che con il procedere della stagione esse abbandonano progressivamente le acque superficiali per andare a vivere negli strati più profondi dove, a volte, trascorrono l'intera estate a stretto contatto con i sedimenti di fondo, in uno stato di quiescenza paragonabile al letargo di molti mammiferi. Così come *Cyclops abyssorum* è tipico della stagione fredda, vi sono specie che trovano le condizioni ambientali più adatte al loro sviluppo

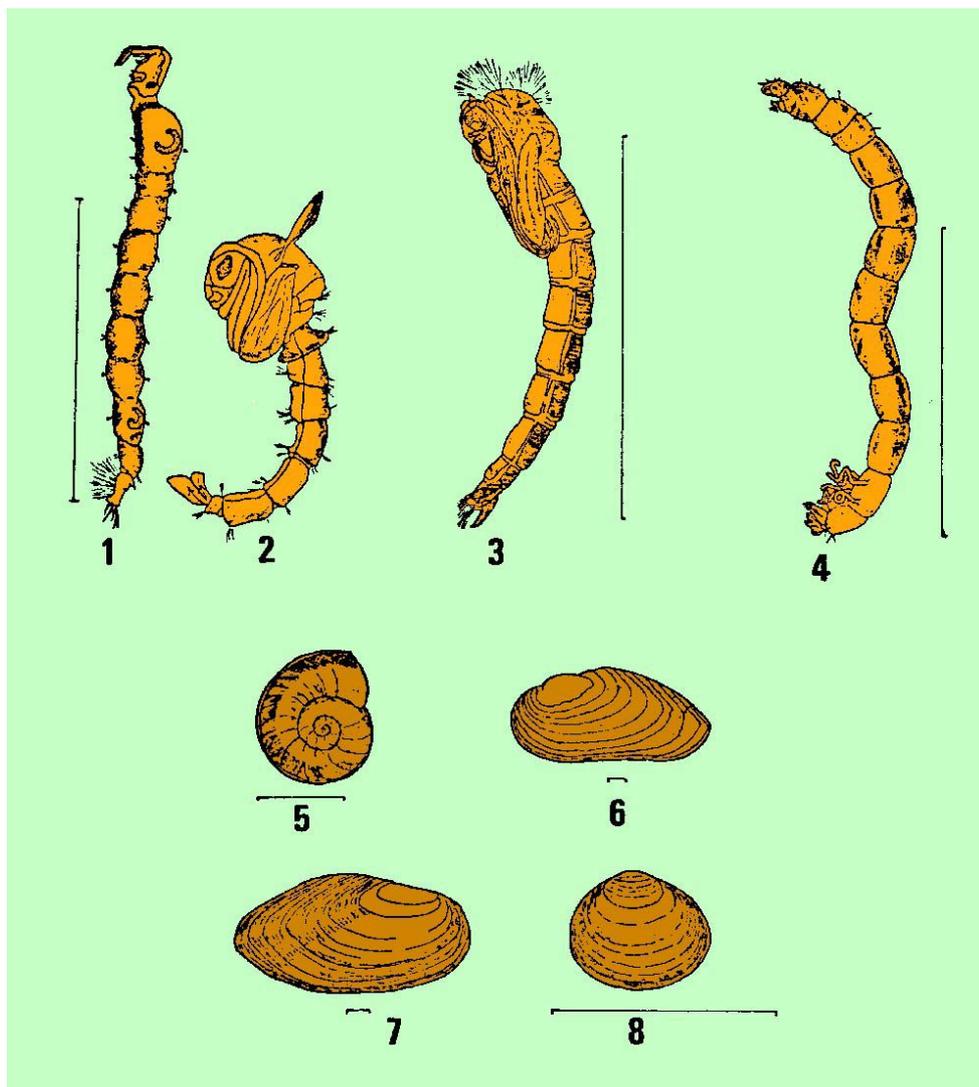
nel periodo primaverile ed altre nel periodo estivo, come *Mesocyclops leuckarti*.



**Fig. 12.** Alcuni organismi zooplanctonici (il segmento tracciato accanto a ciascuno rappresenta, quando non diversamente indicato) la lunghezza di 0,5 mm). Cladoceri: **1** *Diaphanosoma*; **2** *Bosmina*; **3** *Leptodora*; **4** *Bythotrephes*; **5** *Daphnia*. Copepodi: **6** *Cyclops*; **7** *Diaptomus*.

Gli organismi animali che vivono a diretto contatto con i sedimenti di fondo sono denominati organismi bentonici (Fig. 13). È intuitivo che nel determinare la distribuzione, la densità e la presenza di determinate specie gioca un ruolo importantissimo la natura dei sedimenti. I sedimenti limosi (a struttura fine), tipici dei tratti di riva più riparati e con debole ondazione, nonché delle zone più profonde, sono ricchi di detrito organico soprattutto di origine vegetale e

accolgono, come elementi più caratteristici, gli OLIGOCHETI (appartenenti al gruppo dei vermi) e le larve di alcuni insetti (per lo più CHIRONOMIDI). Nei sedimenti sabbiosi, che caratterizzano i tratti di riva con ondatazione sensibile e la zona sublitorale, trovano particolare sviluppo popolazioni di varie specie di MOLLUSCHI: dai Lamellibranchi (come *Pisidium*, *Unio* e *Anodonta*) noti anche come "mitili di acqua dolce" ai Gasteropodi come *Planorbis* (riconoscibile per la forma a spirale appiattita del suo guscio). Le comunità bentoniche dei fondali pietrosi sono caratterizzate da una notevole varietà di organismi tra i quali particolarmente comuni sono le larve di insetti che vivono sulla superficie dei ciottoli, spesso rivestita da alghe e muschi.



**Fig. 13.** Alcuni organismi bentonici. Il segmento tracciato accanto a ciascun animale rappresenta la lunghezza di 1 cm). Insetti: **1** Larva di *Chaoborus*; **2** pupa del medesimo; **3** pupa di *Chironomus*; **4** larva del medesimo. Gasteropodi: **5** *Planorbis carinatus*. Lamellibranchi: **6** *Margaritora margaritifera*; **7** *Anodonta cygnea*; **8** *Pisidium lilljeborgii*.

Gli INSETTI, che trascorrono i loro stadi larvali nelle acque dei laghi, trovano i rappresentanti più significativi nei *Chironomus* e *Chaoborus*. I *Chironomus* vivono prevalentemente nella zona profonda dei laghi, ed in

generale si nutrono del detrito organico contenuto nel sedimento di fondo (ve ne sono alcuni che hanno abitudini predatorie); si proteggono per lo più entro tubuli da loro stessi costruiti utilizzando sedimento cementato da secrezione salivare. Questa struttura ha principalmente funzione di rifugio, ma permette loro anche di sollevarsi, anche se di poco, al di sopra della zona di contatto tra acqua e sedimenti che generalmente è la più povera di ossigeno. Dal punto di vista fisiologico, hanno sviluppato meccanismi che permettono loro sopravvivere normalmente anche a concentrazioni di ossigeno molto basse. Al termine dello sviluppo larvale si portano alla superficie del lago e sfarfallano come adulti.

Interessante è il comportamento della larva di *Chaoborus*. Le uova di questo insetto sono deposte dagli adulti presso le rive; le giovani larve che si liberano alla schiusa si mantengono per un certo tempo nelle acque superficiali e si comportano come organismi zooplanctonici predatori. Solamente verso la fine dello stadio larvale passano nei sedimenti. Tuttavia, durante le ore notturne, le larve bentoniche di *Chaoborus* sono in grado di compiere migrazioni verso le acque superficiali per poi tornare, all'alba, verso i sedimenti del fondo.

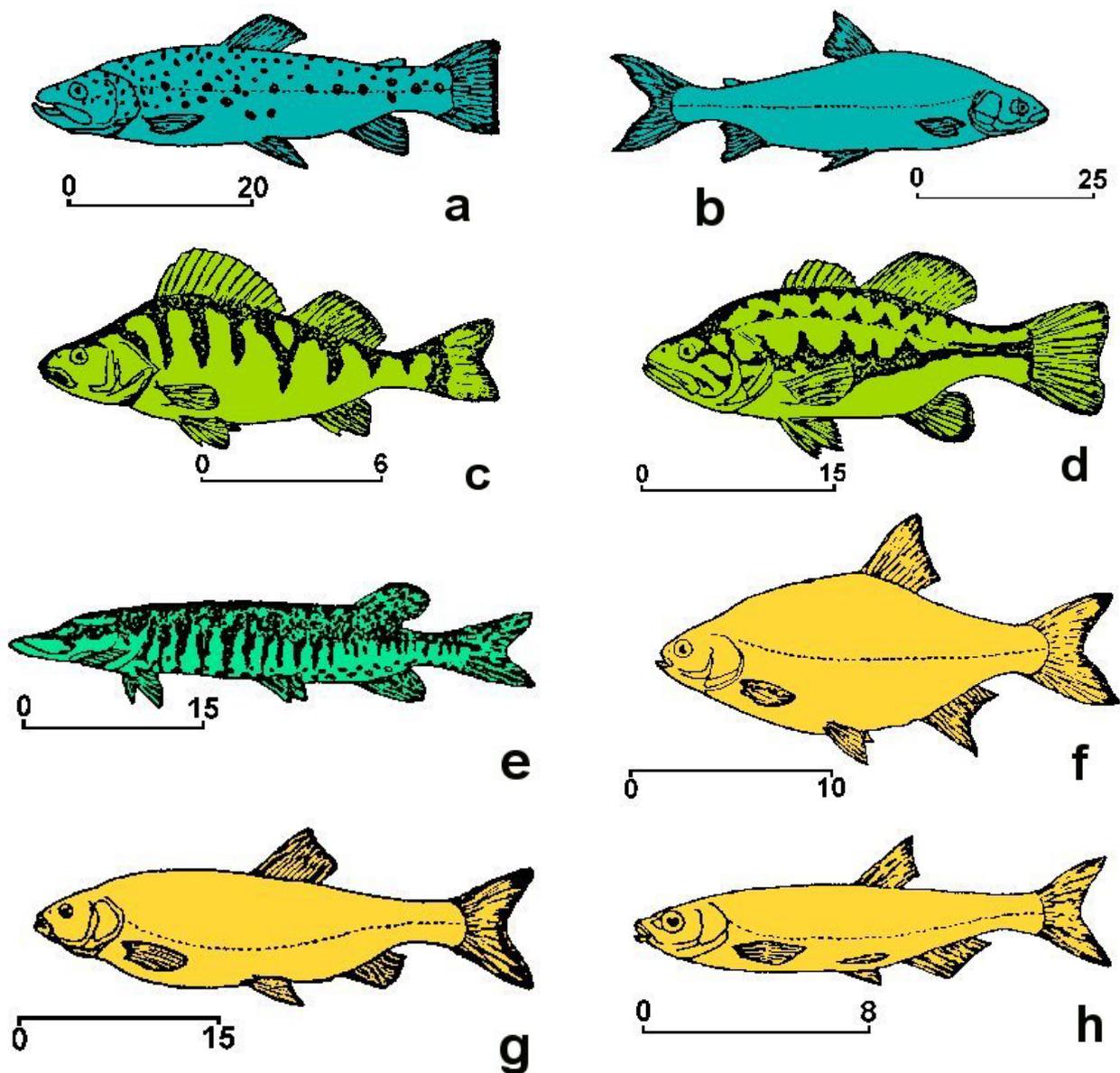
Il popolamento ittico costituisce il vertice della catena alimentare lacustre ed è costituito, nei laghi del distretto alpino cui facciamo in questo caso particolare riferimento, da alcune decine di specie principalmente raggruppabili nelle seguenti quattro principali famiglie (Fig. 14):

- SALMONIDI, che comprendono trote, salmerini e coregoni;
- CIPRINIDI, cui appartengono alborelle, scardole, cavedani, triotti, pighi, tinche, carpe, ecc.;
- PERCIDI, con persico e sandra;
- CENTRARCHIDI, con persico trota e persico sole.

Le diverse esigenze ambientali che caratterizzano le singole specie ittiche determinano, in ultima analisi, la presenza o meno di alcune di esse in laghi diversi o in diverse aree di uno stesso grande lago. Un lago di pianura, poco profondo, con temperature estive superiori a 20 °C e con deficit di ossigeno sul fondo non potrà certo ospitare trote, coregoni e salmerini (noti per preferire acque fredde e bene ossigenate), ma piuttosto Ciprinidi come scardole, alborelle, tinche, carpe e qualche predatore piscivoro come luccio e persico trota. In un grande lago profondo del distretto alpino esiste di fatto una molteplicità di situazioni ambientali tale da permettere la coesistenza di specie ittiche con esigenze anche molto diverse.

Abbiamo già accennato alle differenze che esistono tra i popolamenti fitoplanctonici e zooplanctonici tra zona litorale e zona pelagica in un grande lago profondo. Ebbene, anche per il popolamento ittico queste due zone rappresentano una ragione di diversificazione nella composizione specifica. Le acque pelagiche sono abitate da specie che, in genere, mal sopportano le alte temperature superficiali estive (trote, coregoni e agoni); qui, infatti, hanno la possibilità di rifugiarsi in profondità o, quanto meno, di scegliere lo strato

d'acqua con temperature ad essi più favorevoli. Le abitudini alimentari delle specie che scelgono come habitat le acque pelagiche sono carnivore, il loro alimento principale è costituito infatti da zooplancton.



**Fig. 14.** Alcuni componenti della fauna ittica d'acqua dolce. **a** trota (Salmonidi); **b** coregone (Salmonidi); **c** persico reale (Percidi); **d** persico trota (Centrarchidi); **e** luccio (Esocidi); **f** scardola (Ciprinidi); **g** cavedano (Ciprinidi); **h** alborella (Ciprinidi).

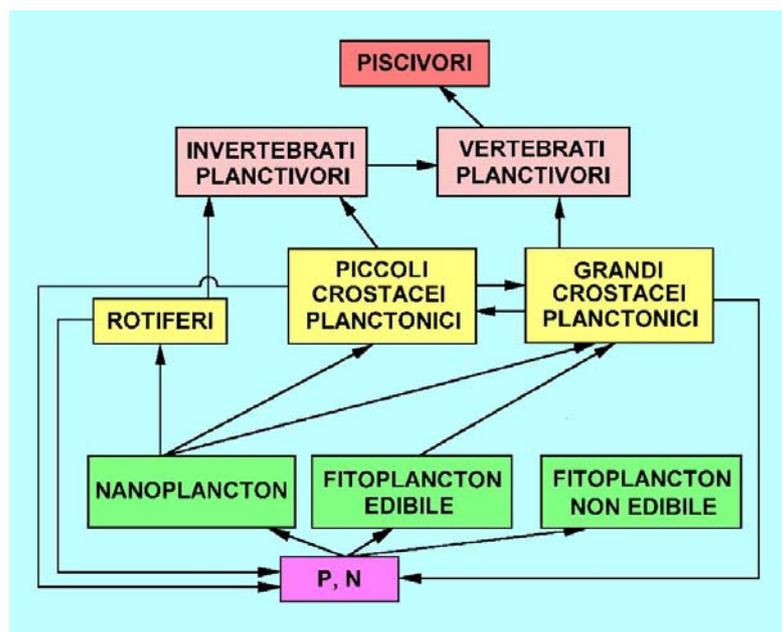
Nella zona litorale incontriamo, oltre che una maggiore abbondanza di individui, anche una grande varietà di specie. Dobbiamo ritenere questo fatto legato, in primo luogo, all'abbondanza di alimento ed alla sua più facile reperibilità. La presenza in questa zona di piante acquatiche e di una grande quantità di organismi animali e vegetali che vivono in stretto rapporto con il detrito di fondo crea condizioni favorevoli al prosperare di numerose specie ittiche con le più diverse abitudini alimentari. Infatti, possiamo incontrare

pesci con alimentazione vegetale, animale o mista, nonché i grossi predatori piscivori quali luccio, persico, sandra e persico trota che, celandosi tra le piante acquatiche, tendono i loro agguati a pesci di piccole dimensioni.

Dobbiamo tuttavia ricordare che molte specie compiono migrazioni tra zona pelagica e zona litorale in concomitanza con particolari momenti stagionali. Questo fenomeno si può osservare abbastanza comunemente durante il periodo della riproduzione. È noto, ad esempio, il fatto che agone e coregone lavarello si spingono, per deporre le uova, in acque litorali molto basse con fondali sabbiosi puliti e che la trota, quando le è possibile (ed oggi non lo è quasi mai), risale verso la sorgente dei fiumi immissari. Il fenomeno delle migrazioni può anche non coincidere con esigenze riproduttive. L'alborella, ad esempio, specie che vive in branchi anche numerosissimi, è tipica delle acque pelagiche superficiali; tuttavia, durante l'estate è assai frequente trovarla lungo le rive dei nostri laghi, mentre durante l'inverno si sposta nelle acque pelagiche profonde.

La breve analisi che abbiamo compiuto sui singoli gruppi di organismi che popolano l'ambiente lacustre non deve fare dimenticare che essi costituiscono, nel loro insieme, una catena alimentare aperta, che rende conto del trasferimento di energia dalla base al vertice della piramide ecologica.

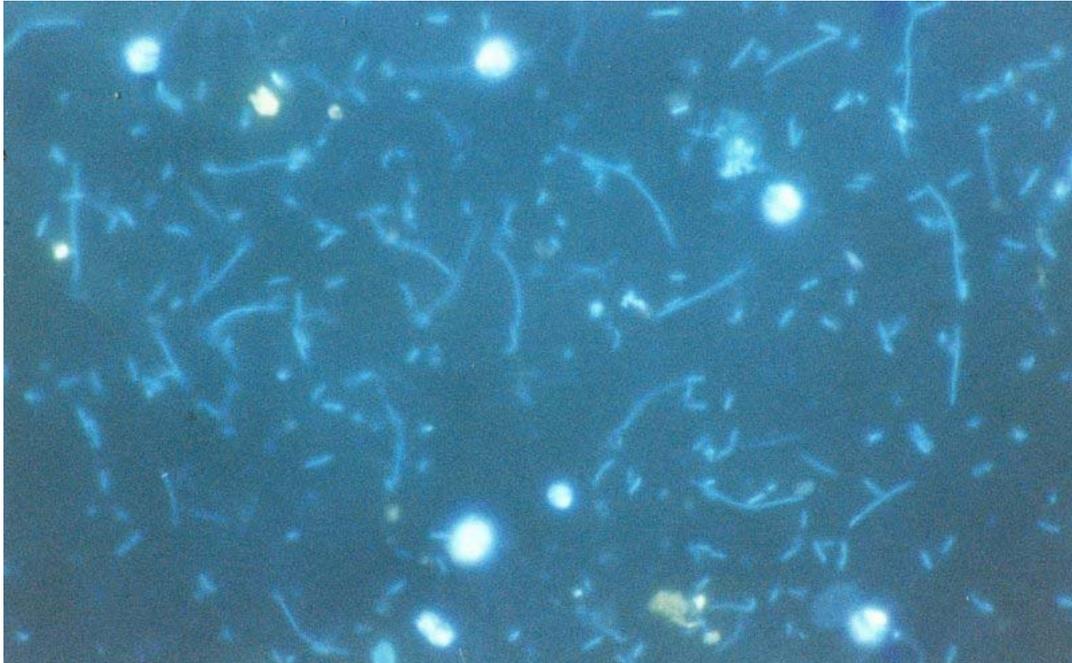
Possiamo riassumere il concetto di CATENA ALIMENTARE come un legame di dipendenza che connette tra loro i vari organismi. Tuttavia, è bene precisare che le dipendenze alimentari sono raramente descrivibili con relazioni semplici: quasi sempre un organismo preda possiede più predatori, ed un predatore più prede. Questo ha indotto a preferire il termine di RETE ALIMENTARE (o rete trofica) anziché di catena (Fig. 15).



**Fig. 15.** Principali relazioni trofiche tra gli organismi che compongono la catena alimentare

pelagica.

Accanto alla rete trofica la microflora batterica realizza, in parte, un riciclo dell'energia immagazzinata in ogni anello e non trasferita per linea diretta all'anello successivo, contribuendo così ad aumentare l'efficienza di trasferimento della energia. Questa microflora è attiva soprattutto a livello dei sedimenti ma, in alcuni casi, interessa in modo rilevante anche le acque libere (Fig. 16).



**Fig. 16.** Microflora batterica

L'attività batterica risulta di grande importanza per quanto riguarda il riciclo della materia; infatti, la demolizione della sostanza organica a composti chimici elementari che verranno di nuovo utilizzati dagli organismi vegetali costituisce il meccanismo attraverso il quale si realizza la chiusura del ciclo. La materia, diversamente dall'energia che viene dispersa in continuazione nel corso del suo trasferimento a senso unico dai produttori ai diversi livelli dei consumatori, è impegnata dunque, per azione principalmente dei batteri, in un ciclo chiuso.

Gli organismi delle singole specie presenti in un lago non rappresentano singole entità isolate, ma risultano raggruppati in diversi livelli organizzativi. Il primo livello, dopo quello di individuo, è la POPOLAZIONE. Con il termine popolazione si intende l'insieme di individui di una stessa specie che vive in una determinata area. Una popolazione è in grado, quasi fosse un super-organismo, di accrescersi, di invecchiare, di rinnovarsi ed anche di morire. A questo livello di organizzazione competono le caratteristiche proprie di una collettività, che si identificano con parametri quali i tassi di fecondità, natalità mortalità, il rapporto sessi e la struttura in età. La popolazione, pertanto,

rappresenta una vera e propria unità funzionale tra le più importanti di un intero ecosistema.

La convivenza che si realizza tra più popolazioni di specie differenti dà luogo ad una 'COMUNITA'. Questa, dunque, rappresenta un livello organizzativo superiore, nel quale le singole popolazioni sono legate da rapporti di interdipendenza reciproca che si manifestano attraverso la competizione interspecifica, la predazione, il parassitismo.

Nello studio di una popolazione il primo parametro che abitualmente si considera è la densità. L'azione che una popolazione esercita sull'ambiente e nei confronti delle altre popolazioni che con essa convivono dipende non solamente dal tipo di azione esercitata, ma anche dal numero di individui che la esercita. Che cosa si intenda per densità di popolazione è abbastanza intuitivo. Con questo termine, infatti, si usa indicare il numero di individui appartenenti ad una popolazione che vivono in una unità di spazio. L'unità di spazio viene generalmente scelta in rapporto al tipo di popolazione in studio. Così, per le popolazioni che vivono in un ambiente lacustre, l'unità spaziale di riferimento per esprimere la densità sarà il volume, espresso in litri per il popolamento planctonico algale, in metri cubi per il popolamento zooplanctonico; mentre, per il popolamento bentonico, si farà riferimento al metro quadro di superficie di fondo e, nel caso dei pesci, la densità sarà espressa come numero di individui per ettaro di superficie lacustre.

Osservando la densità degli organismi che popolano le acque di un lago si vede che essa varia in maniera a volte molto rilevante nel corso dell'anno. Queste fluttuazioni possono essere ricondotte ad interazioni delle popolazioni con l'ambiente fisico e ad interazioni con gli altri organismi che compongono la comunità biologica nella quale la popolazione è inserita. I fattori abiotici sono riconducibili essenzialmente alle variazioni climatiche ed ambientali che si verificano con il procedere delle stagioni. Esse si presenteranno con una ciclicità annuale abbastanza regolare e costante, tipica della latitudine alla quale l'ambiente si trova. Le interazioni di tipo biotico si possono ricondurre a tre tipi fondamentali: competizione per le risorse alimentari disponibili, predazione e parassitismo.

In senso generale, per COMPETIZIONE si intende l'interazione fra due organismi che lottano per utilizzare la stessa risorsa necessaria alla loro sopravvivenza. Questo è uno dei più importanti meccanismi di interazione tra gli organismi, ed anzi risulta essere causa fondamentale nel determinare la selezione naturale, e quindi l'evoluzione. Infatti, la sua rilevanza è tale che due popolazioni di organismi, appartenenti a specie diverse, che hanno però le stesse esigenze nei confronti di tutte le risorse necessarie alla loro vita, non possono coesistere; l'una escluderà l'altra. Questo fatto è noto come "principio di esclusione" o principio di Gause, dal nome del biologo russo che per primo lo confermò sperimentalmente. A testimonianza della grande importanza della competizione citeremo un esempio che ci sembra molto significativo in proposito e che riguarda la fauna ittica del Lago Maggiore. È noto che la fauna ittica di un lago viene gestita in forma più o meno diretta

dall'uomo attraverso l'introduzione di novellame delle specie già presenti nel lago o, in casi più rari, con l'introduzione di nuove specie. Questa ultima pratica non è esente da rischi in quanto può portare, se la specie introdotta ha successo, anche a profonde modificazioni nella struttura della comunità ittica e, a volte, dell'intera comunità biologica del lago.

Nel Lago Maggiore è stata introdotta nel 1950, una nuova specie di coregone: il coregone bondella. Tralasciamo qui di entrare nel merito delle motivazioni che hanno spinto a questa immissione e consideriamo invece le conseguenze da essa derivate. Al tempo nel quale avvenne questa immissione nel Lago Maggiore era presente un'altra specie di coregone, il Coregone lavarello, introdotta attorno al 1870 che, nel frattempo, aveva costituito una popolazione discretamente stabile ed in equilibrio con l'ambiente. Subito, tra la bondella neointrodotta e il lavarello si sono instaurati rapporti di stretta competizione soprattutto per quanto riguarda l'alimento. Poiché la bondella era avvantaggiata dal punto di vista della riproduzione e accrescimento nella competizione con il lavarello, il risultato è stato che, nel giro di pochi anni, la densità della popolazione di lavarello si è ridotta a valori assai bassi, soppiantata dall'affermarsi della popolazione di bondella.

Poiché la bondella è una specie strettamente planctofaga, che si nutre cioè esclusivamente di organismi zooplanctonici quali *Daphnia*, *Cyclops*, *Leptodora* ecc., e poiché l'intensità della sua predazione è proporzionale alla sua densità, ecco che le fluttuazioni da essa presentate si ripercuotono sulle popolazioni degli organismi predati che vanno incontro a fluttuazioni analoghe, ma di segno opposto. Nei periodi nei quali la densità della bondella è elevata, quella delle prede è bassa, e viceversa.

Questo esempio permette di constatare come i fenomeni di competizione e predazione che interessano una popolazione e ne determinano gli aspetti dinamici non possono essere considerati separatamente l'uno dall'altro. Spesso, nel caso di popolazioni naturali, risulta particolarmente difficile distinguere con sufficiente chiarezza gli effetti dell'una e dell'altra. Il più delle volte questo richiede una approfondita conoscenza della biologia e dell'ecologia della specie in esame e l'impiego di tecniche matematiche come la modellistica.

Per quanto riguarda più direttamente la PREDAZIONE si può affermare che il suo effetto più immediato sia quello di aumentare la mortalità a livello della popolazione preda. In relazione alla sua intensità, infatti, la predazione determinerà una diminuzione del numero di individui ovvero un arresto della crescita numerica della popolazione predata.

Inoltre, gli effetti conseguenti alla predazione possono variare in misura notevole anche in rapporto all'età degli individui predati. Un effetto ben diverso sarà assunto da una predazione che colpisca gli individui più giovani, rispetto ad una rivolta verso gli individui adulti. Schematicamente possiamo osservare che la selezione di predazione viene realizzata in due modi:

- operando una scelta - spesso genericamente su basi dimensionali della specie preda tra le tante presenti. Questo tipo di selezione viene detta "specificità";
- operando all'interno della specie preda un'ulteriore selezione basata sulle caratteristiche dei singoli individui (giovani, adulti, debilitati, ecc.).

Per quel che riguarda il sistema del Lago Maggiore prima esemplificato, tra gli organismi predati dal coregone bondella ve ne sono alcuni (*Leptodora* e *Bythotrephes*) che sono a loro volta predatori che agiscono anch'essi sull'altra specie predata dal coregone, cioè *Daphnia*. Quest'ultima quindi risulta soggetta all'azione di più predatori; si ha cioè a che fare con un sistema in cui il coregone controlla la densità delle tre specie predate che a loro volta presentano strettissimi rapporti di interdipendenza alimentare reciproca.

La predazione, tuttavia, nell'ambiente naturale non va vista come un fenomeno negativo, soprattutto se il fenomeno è osservato dal punto di vista della popolazione. In quest'ottica la predazione diventa uno dei meccanismi regolatori ed equilibratori di maggior rilievo. In alcuni casi è stato addirittura possibile mettere in evidenza come la scomparsa dei predatori abbia determinato l'estinzione, in una certa area, anche della popolazione preda.

Una conclusione importante che si può trarre da quanto esposto su competizione e predazione è che, mentre la competizione può portare spesso alla scomparsa di una popolazione, la predazione generalmente non lo determina. Ciò si verifica in quanto il predatore si comporta con molta prudenza cercando di arrecare il minor danno possibile alle popolazioni predate; infatti, la scomparsa delle prede determinerebbe anche la scomparsa del predatore. Il risultato è che prede e predatori coesistono, controllandosi vicendevolmente in un delicato equilibrio dinamico.

## 6. EVOLUZIONE DI UN LAGO

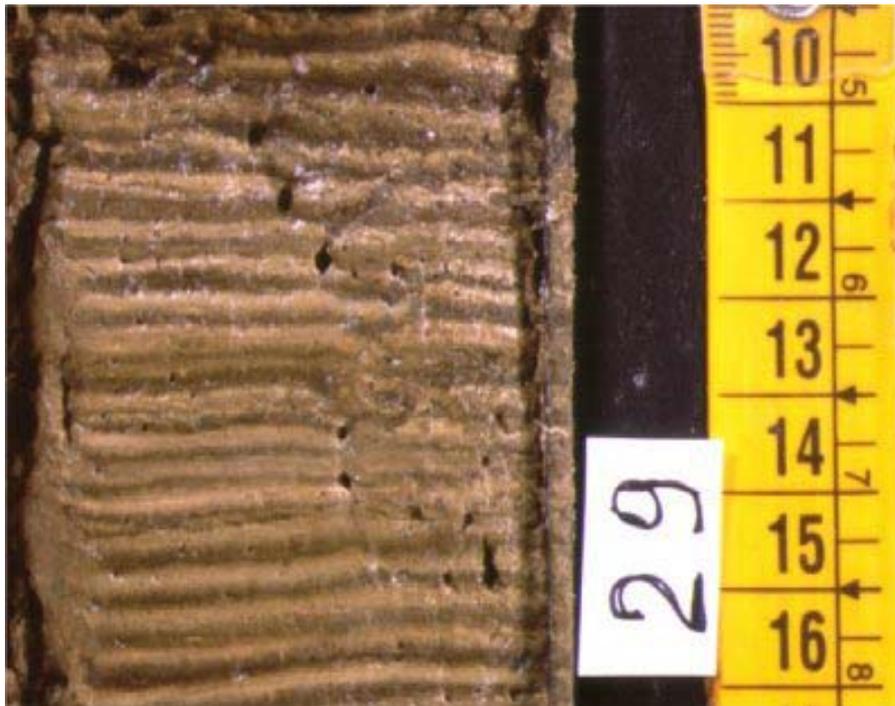
Nella scala geologica dei tempi il lago rappresenta un fenomeno di durata piuttosto breve. Mediamente si può ritenere che un lago abbia una vita compresa tra poche migliaia ed alcune decine di migliaia di anni. La principale, e sostanzialmente unica, causa di morte naturale di un lago è l'interrimento. Infatti, ciottoli e sabbie trasportate dai fiumi immissari, o provenienti dall'azione erosiva che il moto ondoso del lago stesso determina sulle rive, tendono a riempire la depressione che accoglie le acque lacustri. A questa azione di riempimento contribuisce, in alcuni casi anche in maniera rilevante, la sedimentazione continua di materiale organico che dalle zone produttive superficiali va depositandosi, sotto forma di detrito, a livello di fondo e che non sempre, e comunque non completamente, viene restituito dall'attività batterica e dalla piena circolazione delle acque agli strati produttivi superficiali. Schematicamente, il materiale che determina l'interrimento di un lago può essere distinto in:

- materiale ALLOCTONO che viene convogliato a lago dal bacino imbrifero attraverso i fiumi ed in generale con le acque di scorrimento superficiale. Dal punto di vista qualitativo questo materiale è prevalentemente costituito da sostanze sedimentarie inorganiche quali ciottoli, sabbie, argille ecc.;
- materiale AUTOCTONO che viene prodotto nella zona trofoga del lago ed è costituito, come è evidente, soltanto da materiale organico.

Poiché la quantità di materiale organico prodotto da un lago non è costante, ma soggetta, in primo luogo, ad un ciclo stagionale, avremo che il sedimento non sarà uniformemente ricco di materiale organico autoctono, ma si potrà osservare una successione di piccoli strati di sedimento con diversa componente quantitativa organica, in funzione del susseguirsi delle stagioni con quadri produttivi diversi. L'esame visivo di una carota di sedimenti profondi di un lago consentirà di osservare un susseguirsi di piccoli strati (denominati VARVE) più scuri, là dove si ha una maggior presenza di materiale organico a testimonianza di una stratificazione estiva, e più chiari, là dove si ha la prevalente presenza di materiale inorganico alloctono, a conferma di una stratificazione invernale (Figg 17 e 18). È intuibile che lo studio delle varve di una carota di sedimento profondo di un lago è di grandissima utilità non solamente ai fini della determinazione della rata di sedimentazione che può consentire, tra l'altro, di prevedere quanto a lungo potrà vivere il lago, ma anche di ricostruire la storia fisica e biologica del lago e di tutto il suo bacino imbrifero.

**Fig. 17.** Il "carotatore" è lo strumento utilizzato per il prelievo di sedimento di fondo di spessore variabile da poche decine di centimetri ad oltre un metro





**Fig. 18.** "Carota" di sedimento con varve in chiara evidenza.

Il lago dunque è un fenomeno temporaneo; un bacino che va colmandosi gradualmente di detrito organico e inorganico. A titolo di esempio basterà ricordare che il fondo del Lago di Quattro Cantoni si innalza di poco più di un centimetro ogni anno, che al tempo dei Romani il Lago Maggiore giungeva fino all'attuale Bellinzona, mentre il Lago di Como penetrava in Valtellina fino a Morbegno e occupava il Piano di Chiavenna sino quasi all'omonima città. Moltissime delle attuali torbiere altro non sono che le vestigia di antichi laghi colmatasi nel corso dei secoli sino a diventare paludi che si sono andate riempiendo di vegetazione, trasformatasi poi in torba.

Un lago, durante la sua esistenza, mostra, quale suo principale fattore di trasformazione, una costante e progressiva diminuzione di profondità. Questo fatto contribuisce a determinare sostanziali modificazioni delle sue capacità produttive (TROFIA) che provocano un vero e proprio invecchiamento biologico dell'Ecosistema Lago.

Consideriamo, a titolo di esempio un grande lago profondo della zona temperata. In tale lago, la concentrazione dei nutrienti algali (intendiamo per nutrienti algali principalmente i sali di azoto e fosforo) è in generale bassa per diverse ragioni: innanzi tutto per la diluizione che realizza una grande massa d'acqua, in secondo luogo per un rapporto sfavorevole tra volume d'acqua superficiale produttivo e volume d'acqua totale, ed infine perché la grande profondità rende più difficile, e quindi più rara nel tempo, la piena circolazione delle acque con conseguente aleatoria, oltre che incompleta, restituzione agli

strati produttivi dei sali nutritizi. Un lago con queste caratteristiche viene denominato OLIGOTROFO o poco produttivo.

Un lago piccolo e profondo solamente poche decine di metri avrà caratteristiche esattamente opposte a quelle poco sopra accennati. Ne conseguirà una produttività elevata: un lago di questo tipo è chiamato EUTROFO o molto produttivo. Le condizioni intermedie alle due presentate vengono classificate come situazioni di MESOTROFIA o di produttività intermedia.

Il bacino idrografico che fa capo ad un lago comprende in generale un certo numero di corsi d'acqua immissari che convogliano acqua e soluti dilavati dal bacino imbrifero ed un emissario che sottrae acqua, soluti e materiale biologico prodotto nel lago. Come è facilmente intuibile, la concentrazione di sali nutritizi è anche funzione di questo bilancio idrologico. Piontelli e Tonolli hanno dimostrato, utilizzando un modello matematico sviluppato su dati sperimentali, che il tempo reale medio di permanenza dell'acqua del Lago Maggiore è di 14 anni e mezzo; questo tenendo conto non solamente del puro e semplice bilancio idrologico, ma anche di vari fattori dinamici quali, stratificazione termica, circolazione delle acque e solubilizzazione dei vari composti chimici. Da ciò risulta un dato di particolare interesse: un composto chimico in soluzione e non adsorbibile immesso ogni anno nel Lago Maggiore in quantità 1 verrebbe a trovarsi, dopo dieci anni, in quantità pari a 7,3.

Il progressivo aumento della concentrazione dei soluti nelle acque di un lago, e quindi dei sali nutritizi, nel progredire degli anni, unitamente al fenomeno della diminuzione della profondità media causato dall'interrimento, danno luogo ad un progressivo aumento della capacità produttiva di un lago che da oligotrofo passa a livelli di trofia sempre più alti fino a giungere all'eutrofia ed anche a superarla (IPERTROFIA). Tale processo è da considerarsi un fenomeno del tutto naturale e comune, quale storia evolutiva, ad ogni bacino lacustre. Diversi sono evidentemente i tempi entro i quali questa evoluzione si realizza, in dipendenza prima di tutto dalle dimensioni del lago (superficie, profondità media e massima), dalla natura geologica e chimica del bacino imbrifero e dal regime climatico nel quale il lago è inserito.

Ci siamo limitati sino ad ora a descrivere molto brevemente le caratteristiche strettamente ecologiche dell'ambiente lago, volutamente trascurando l'interferenza delle attività umane su questo ecosistema, perché più chiaramente risultassero le caratteristiche e i delicati equilibri che costituiscono la struttura portante di questo ambiente. Non è neppure nostra intenzione entrare in una dettagliata e documentata disquisizione in merito a cause ed effetti relativi all'inquinamento dell'ambiente lacustre conseguente alle attività umane. Ci limiteremo, tuttavia, ad esporre, con la brevità che è ormai diventata regola in questo scritto, solo un particolare aspetto dell'inquinamento: quello dell'eutrofizzazione inteso come accelerazione,

spesso elevatissima, indotta dalle attività umane di un processo che, come appena visto, è da ritenersi naturale.

L'eutrofizzazione indotta dall'uomo si può definire come un fenomeno di arricchimento supplementare in nutrienti (ribadiamo: principalmente azoto e fosforo, ma non solamente!) o in sostanza organica. Le fonti più importanti di questi elementi derivanti dall'attività umana sono: gli scarichi urbani, gli scarichi industriali (soprattutto quelli di alcuni tipi di industrie), le acque di drenaggio dei terreni agricoli.

A titolo orientativo si può affermare che per un lago esiste un concreto pericolo di eutrofizzazione quando dal suo bacino imbrifero gli pervengono, annualmente, per ogni metro quadrato di superficie lacustre, oltre 5-10 grammi di composti inorganici di azoto e più di 0,2-0,5 grammi di fosforo. Molti autori sottolineano il fatto che sia il fosforo il fattore limitante la produzione di un lago, quindi particolare attenzione andrebbe rivolta nell'evitare l'immissione di questo elemento. Una stima alquanto grossolana valuta che le acque usate provenienti da centri urbani veicolino ogni giorno circa 11 grammi di azoto e due di fosforo per abitante. Superfluo è sottolineare il ruolo importante dei detersivi quali fornitori di fosforo. A tale proposito basterà ricordare che il fosforo rappresenta il 7-12% del peso totale dei detersivi oggi in commercio. Tra le sorgenti più importanti vanno ricordate ancora le attività agricole e soprattutto zootecniche. In Italia vengono sparsi ogni anno circa 60 kg per ettaro di fertilizzanti fosforati ed azotati oltre il 60% dei quali viene dilavato dalle piogge; in un allevamento di suini si ha l'eliminazione annua, per ogni 1000 kg di peso vivo, di 150 kg di azoto e di 45 kg di fosforo.

Prendiamo ora in esame gli effetti di questo arricchimento sulle biocenosi lacustri. Effetto più immediato dell'eutrofizzazione è l'aumento, spesso enorme, della produzione primaria algale. Tuttavia, l'aumento di biomassa algale non è ugualmente ripartito fra le diverse specie, ma interessa soprattutto alcuni gruppi tra i quali spicca quello delle Cianoficee. *Oscillatoria rubescens* è stata assunta come organismo algale indicatore dell'alto grado di trofia di un lago. Questa alga filamentosa (e come essa molte altre Cianoficee) dà luogo, in determinati periodi dell'anno ad imponenti fioriture, il decadimento delle quali provoca il consumo totale dell'ossigeno disciolto a livello del fondo con conseguente possibile formazione di gas altamente tossici quali idrogeno solforato e metano.

Si può osservare a questo punto che gran parte del materiale organico derivante dalla produzione primaria algale non entra nella catena alimentare in quanto le Cianoficee sono scarsamente utilizzabili dallo zooplancton erbivoro per via della loro morfologia quasi sempre filamentosa o coloniale. Gli effetti dell'eutrofizzazione sullo zooplancton sono mediati attraverso gli effetti sull'abbondanza delle alghe di piccole dimensioni (dimensioni delle alghe o delle colonie inferiori a 50  $\mu\text{m}$ ) che costituiscono l'alimento principale dello zooplancton fitofago. Una prima indicazione risultante dall'esame di dati relativi a laghi che hanno subito arricchimento in nutrienti è che si siano

venute ad alterare le proporzioni numeriche tra le varie specie zooplanctoniche piuttosto che una drastica variazione nella composizione specifica. La spesso notata scomparsa della *Bosmina coregoni* con il procedere dell'eutrofizzazione può dare un'impressione di instabilità che può essere ingannevole. Si deve tener conto, al fine di una più corretta interpretazione di questo fenomeno, della predazione messa in atto selettivamente dalle specie ittiche zooplanctofaghe. Infatti, la scomparsa di *Bosmina coregoni* e la sua sostituzione con *Bosmina longirostris* (di più piccole dimensioni) è stata notata anche in ambienti soggetti a forte predazione da parte di pesci, senza che fossero avvenuti sostanziali cambiamenti nel grado di trofia delle acque. Una indicazione più precisa si ha, da parte dei popolamenti zooplanctonici, con la comparsa e l'acquisizione di una importante consistenza numerica della popolazione di *Chydorus*.

Il popolamento bentonico è quello che in un lago per primo risente degli effetti negativi indotti dall'eutrofizzazione. Infatti, non appena la tensione di ossigeno tende a diminuire a livello dell'interfaccia acqua-sedimento, le specie ossifile scompaiono. Il procedere di questa riduzione di ossigeno ed il sopraggiungere di condizioni anossiche portano ad una graduale riduzione delle specie presenti fino alla scomparsa di ogni forma vivente animale a livello del fondo.

Nonostante i pesci rappresentino il punto focale degli interessi umani nell'ambiente lacustre, sono da considerarsi organismi piuttosto lenti nel rispondere ai processi di eutrofizzazione e quindi degli indicatori non molto buoni. Infatti, trovandosi al vertice della catena alimentare, essi sono gli ultimi a risentire dei cambiamenti di trofia del corpo d'acqua che li ospita. La loro rata di crescita e di sopravvivenza può variare ampiamente, le loro abitudini alimentari sono, entro certi limiti, flessibili, quindi, prima di denunciare un danno effettivo, possono sfruttare numerose situazioni alternative. In una prima fase si ha un aumento della produzione ittica totale. È questo l'effetto che viene sfruttato proprio con la fertilizzazione artificiale di stagni e di piccoli bacini adibiti a produzione di particolari specie ittiche. Tuttavia, nei laghi il progredire del processo di eutrofizzazione e la conseguente più o meno grave deossigenazione dell'ipolimnio, nonché il variare di altri parametri chimici e fisici, determinano la scomparsa di molte specie ed il prosperare di altre. L'evoluzione della composizione specifica della fauna ittica in un ambiente lacustre soggetto ad eutrofizzazione consiste in un più o meno graduale passaggio da una prevalente composizione a salmonidi (sono i primi a risentire degli effetti negativi dell'eutrofizzazione) ad una prevalente composizione a ciprinidi. Negli ambienti nei quali l'eutrofizzazione non ha ancora raggiunto livelli alti si ha il prosperare di percidi e centrarchidi.

## 7. CONCLUSIONE

Riteniamo che quanto si è cercato di esporre in maniera piana in questo breve scritto possa suggerire se non altro una visione nitida della

complessità, forse inattesa dal lettore, delle problematiche insite nell'affrontare la conoscenza scientifica di un ambiente lacustre. Il lago è dunque un ecosistema tra i più complessi che tuttavia - ed anche questo ci auguriamo risalti con sufficiente chiarezza - non è disgiunto dalla realtà ambientale che lo circonda; non è possibile cioè considerare il lago trascurando il suo bacino imbrifero con tutte le variabili idrologiche, meteorologiche e climatiche relative a questo areale; ed ancora, non si possono trascurare le attività umane che, da alcuni decenni a questa parte, rappresentano una grave sorgente di disturbo dei delicati equilibri che abbiamo cercato di delineare nella loro essenzialità. È molto importante quindi che "l'Uomo tecnologico" cominci a sentirsi un po' meno "padrone dell'Universo" ed un po' più "parte dell'Universo", attraverso il riconoscimento che ad ogni azione da lui compiuta in qualunque direzione corrisponde una reazione dell'ambiente, nel rispetto di Leggi ben precise che gli studi ecologici in generale e idrobiologici in particolare hanno delineato e si sforzano continuamente di raffinare. Questo almeno ci auguriamo di aver chiarito.