

Ruolo della componente fitoplanctonica nel monitoraggio limnologico e sue potenziali applicazioni ai fini della classificazione dei laghi secondo la Direttiva Quadro 2000/60/CE

Catia Monauni*, Sabrina Pozzi, Giovanna Pellegrini, Chiara Defrancesco

1 Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente - Settore tecnico, U.O. tutela dell'acqua. Via Mantova 16, 38100 Trento

** Referente per la corrispondenza: Via Lidorno 1 - 38060 Mattarello, Trento (fax 0461 493003; catia.monauni@provincia.tn.it)*

Pervenuto il 7.12.2004; accettato il 20.6.2005

RIASSUNTO

La componente fitoplanctonica riveste un ruolo di rilievo nella comprensione dello stato ecologico dei corpi lacustri. Spesso però negli studi di routine non viene presa in considerazione a causa delle supposte difficoltà per ottenere risultati apprezzabili e confrontabili in tempi relativamente brevi.

In questo lavoro viene presentato un protocollo di conta dei taxa algali e calcolo dei rispettivi biovolumi, che può aiutare ad uniformare le analisi fatte da operatori diversi e così permettere un confronto ragionevolmente oggettivo dei dati raccolti.

Per evidenziare il contenuto informativo della componente fitoplanctonica nell'ambito del monitoraggio limnologico, è stata inoltre analizzata mensilmente la popolazione algale di 3 laghi trentini.

La classificazione trofica ottenuta con le informazioni ricavate dalla stima del biovolume algale è stata successivamente confrontata con gli indicatori comunemente utilizzati negli studi limnologici.

PAROLE CHIAVE: laghi / fitoplancton / stato trofico / protocollo di conta / Direttiva Quadro 2000/60/CE

Use of phytoplankton community in routine limnological monitoring programs to classify lakes according with the Water Framework Directive 2000/60/EC

Phytoplankton community is very important to evaluate ecological features of a lake. It is often disregarded in routine monitoring programs because of the supposed difficulties in obtaining valuable results in a short time.

In this study a protocol to count algal species and determine their biovolume is presented: it permits to uniform counts made by different operators.

To evidence the importance of information obtained by phytoplankton community analysis in routine limnological monitoring, we also analysed monthly three lakes in Trentino (Italy).

The trophic classification obtained with algal biovolume was then compared with traditional trophic state indexes.

KEY WORDS: lakes / phytoplankton / trophic state / counting protocol / Water Framework Directive 2000/60/EC

INTRODUZIONE

Nell'ambito del Progetto di monitoraggio nazionale dei corsi d'acqua, nato all'inizio del 2000 su iniziativa dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ora APAT), è stata predisposta una serie di attività sperimentali, coordinate dall'Agenzia Provin-

ziale per la Protezione dell'Ambiente (APPA) di Trento, con l'obiettivo di introdurre e/o sviluppare metodi di monitoraggio dei corpi idrici superficiali interni.

Alla luce del ruolo che il fitoplancton verrà ad assumere nella classificazione dello stato ecologico

Tab. I. Principali caratteristiche fisiche dei tre laghi trentini esaminati.

	quota (m slm)	superficie (km ²)	profondità massima (m)	tempo teorico di ricambio (anni)
Lago di Garda	65	368	350	27
Lago di Caldonazzo	449	5,6	49	3,6
Lago di Serrai	974	0,4	18	< 1

dei laghi per la Direttiva Quadro 2000/60/CE, il presente lavoro si propone di verificare la possibilità di introdurre l'analisi della componente fitoplanctonica nell'ambito delle campagne di monitoraggio limnologico a livello agenziale, anche quale supporto alla valutazione dello stato trofico dei laghi.

MATERIALI E METODI

Sono stati presi in considerazione tre laghi trentini (Garda, Caldonazzo e Serrai) che vengono abitualmente controllati dall'APPA ai sensi del decreto legislativo 152/99 e nell'ambito dei programmi di monitoraggio di routine; i laghi esaminati sono diversi tra loro a livello geografico, morfologico e trofico (Tab. I).

Nel 2003, per i tre laghi sono stati eseguiti 32 prelievi con cadenza mensile. Sul lago di Garda sono stati eseguiti 12 prelievi su una colonna fissa 0-20 m; sul lago di Caldonazzo 11 prelievi sempre su una colonna fissa 0-20 m; sul lago di Serrai 9 prelievi, su una colonna integrata di profondità corrispondente alla zona eufotica, stimata come 2,5 volte il valore di trasparenza di volta in volta riscontrato (disco di Secchi). Nel periodo produttivo (maggio-ottobre), con cadenza mensile, sono inoltre stati prelevati per il Garda e per Caldonazzo anche i campioni relativi alla colonna di profondità corrispondente alla zona eufotica, per un totale complessivo di 44 campioni di fitoplancton.

Per l'analisi quali-quantitativa del fitoplancton è stato messo a punto il protocollo di lavoro di seguito riportato, al fine di ridurre le incertezze intrinseche ai diversi fattori che influenzano il conteggio e di omogeneizzare la metodologia di conta degli operatori del laboratorio.

Una frazione dei campioni d'acqua prelevati, accuratamente miscelati, è stata posta in bottiglie di vetro scuro da circa 150 mL e immediatamente fissata con 4-5 gocce di soluzione di Lugol acetico per permetterne la conservazione.

L'analisi quantitativa è stata eseguita utilizzando il processo di sedimentazione secondo UTERMÖHL (1958), al microscopio ad inversione e con l'ausilio di camere combinate con volume di volta in volta variabile a seconda della diversa produttività algale, deducibile dai valori di concentrazione di clorofilla *a* (HOEHN *et al.*, 1998) (Tab. II). I campioni sono stati sedimentati per un periodo variabile dalle 24 alle 48 ore a seconda

del volume sedimentato (il tempo di sedimentazione è corrispondente a circa tre ore per ogni centimetro d'altezza della camera).

Dopo aver osservato la camera ad un ingrandimento basso (40x) per verificare l'uniformità della sedimentazione, il fitoplancton è stato contato mediante il minore ingrandimento possibile, compatibilmente con le dimensioni delle alghe.

La conta dei taxa algali è stata effettuata considerando due diametri di camera tra loro perpendicolari (conta per transetti) ad un ingrandimento di 100x o 200x a seconda della dimensione della specie contata.

Al fine di avere conte attendibili, i transetti delle camere dovevano contenere almeno 100 individui del taxon più frequente, considerando che in questo caso l'accuratezza è pari a $\pm 20\%$ con un limite di significatività del 5% (LUND *et al.*, 1958). In caso contrario il campione veniva sedimentato nuovamente, aumentando il volume.

I taxa particolarmente abbondanti (più di 20 individui per campo) sono stati contati in 10 campi scelti casualmente e omogeneamente nella camera.

Tutti i taxa con meno di 10-15 individui nei due transetti sono stati invece contati a fondo camera (cioè esaminando l'intera superficie della camera) ad un ingrandimento di 200x.

Nei transetti, le colonie filamentose non completamente comprese nel campo visivo sono state contate solamente se occupavano più di un quarto dello stesso a 100x e scegliendo di contare solo quelli che entrano nel campo visivo da un verso (sopra o sotto per il transetto orizzontale, destra o sinistra per quello verticale), in modo da limitare gli errori di sovrastima.

Le alghe coloniali sono state contate sia come singolo individuo (colonia) sia come cellule che lo compon-

Tab. II. Corrispondenza tra i valori di clorofilla *a* e i volumi di campione sedimentato (da HOEHN *et al.*, 1998)

clorofilla <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	campione sedimentato (mL)
0-0,5	100
0,5-2	50
2-5	25
5-10	10
> 10	< 10

gono.

Organismi algali di una certa dimensione e di forma irregolare (ad esempio *Ceratium hirundinella* (Muel-ler) Schrank e *Peridinium* sp. Ehrenberg) sono stati sempre contati a fondo camera a causa della loro sedimentazione non uniforme.

La determinazione sistematica è stata eseguita al massimo livello tassonomico possibile, compatibilmente con i bassi ingrandimenti impiegati, utilizzando le chiavi indicate in bibliografia (AA.VV., 1988; BOURRELLY, 1968, 1972; Ettl e GÄRTNER, 1988; GERMAIN, 1981; KÄRNTNER INSTITUT FÜR SEENFORSCHUNG, 1984; ANAGNOSTIDIS e KOMAREK, 1988; KOMAREK e ANAGNOSTIDIS, 1998; STARMACH, 1985; JAVORNICKÝ, 2001; NOVVARINO *et al.*, 1994); ove mancava la sicurezza nella determinazione della specie, ci si è riferiti al genere.

I conteggi sono stati inseriti in appositi fogli elettronici per il calcolo della densità unitaria (ind./L o cell./L) tenendo conto della superficie della camera di sedimentazione, dell'ingrandimento utilizzato, del numero di campi o transetti esaminati e del volume di campione sedimentato, utilizzando la seguente formula:

$$\text{individui / litro} = \frac{N * S_t}{(S_c * n * V)} * 1000$$

in cui :

N = numero di individui (o cellule) contati

S_t = superficie totale della camera di sedimentazione (mm²)

S_c = superficie "contata", ossia superficie del campo o del transetto (mm²)

n = numero di campi o transetti

V = volume sedimentato (mL).

Dopo aver misurato le dimensioni rilevanti del maggior numero possibile di cellule dei vari taxa algali utilizzando un analizzatore di immagini, se ne è calcolato il volume, adeguandoli a figure geometriche (ROTT 1981, HILLEBRAND *et al.*, 1999) ed inserendo le formule e le misure in un apposito foglio di calcolo. La stima del biovolume totale relativamente a ciascun taxon è stata ottenuta moltiplicando il volume unitario cellulare per il numero totale di cellule.

Il computo totale del biovolume è stato ottenuto come segue:

$$V_t = \sum_{j=1}^n N_j * V_j$$

dove:

V_t = biovolume totale (mm³/L)

N_j = numero di organismi/L del taxon j-esimo

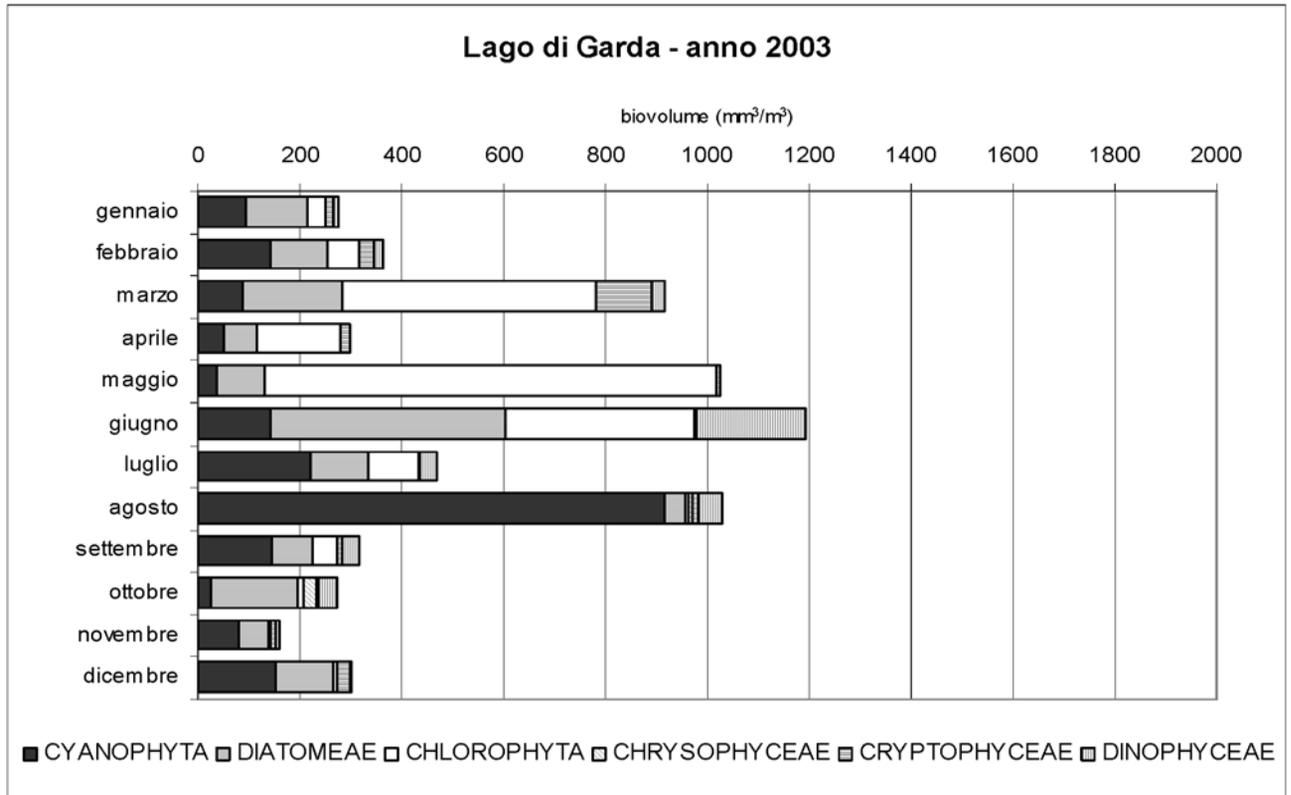


Fig. 1. Andamento del popolamento fitoplanctonico nel lago di Garda relativamente alla colonna integrata 0-20 m.

V_j = volume di un individuo o di una cellula del taxon j-esimo (μm^3).

Il biovolume di ciascun taxon è stato calcolato di mese in mese a causa della variabilità della dimensione delle cellule algali. Per le alghe filamentose caratterizzate da cellule piccole ($<10 \mu\text{m}$ di lunghezza) si è scelto di misurare l'intero filamento (minimo 20 individui scelti a caso nella camera).

I dati di biovolume algale ricavati sono stati in seguito usati per stimare lo stato trofico secondo le indicazioni fornite da ROTT (1984), HAKANSON (1980) e WILLEN (2000).

Le informazioni ottenute sono state confrontate con quelle derivate dall'applicazione dei più comuni indici di stato trofico (OECD, 1982; CARLSON, 1977; CARLSON e SIMPSON, 1996).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Le analisi sono state effettuate da tre operatori diversi che si sono scrupolosamente attenuti al protocollo approntato: per verificare la ripetibilità dei conteggi tra operatori e tra repliche dei campioni sono state effettuate alcune conte di intercalibrazione che hanno confermato un C.V. massimo del 20%.

Analisi del popolamento fitoplanctonico del lago di Garda

I dati relativi al popolamento fitoplanctonico del lago di Garda mostrano nel complesso valori piuttosto contenuti, con l'eccezione dei mesi di marzo, maggio, giugno e agosto in cui la biomassa algale si avvicina e supera i $1000 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ (Fig. 1).

In marzo infatti il valore di biovolume arriva a $917 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ a causa della massiccia presenza delle Chlorophyta, rappresentate in massima parte da *Mougeotia* sp. Agardh. Sempre in marzo risultano abbondanti le Cryptophyceae, rappresentate soprattutto da *Cryptomonas erosa/reflexa* Ehrenberg, Skuja e da *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner. In aprile i valori di biovolume ritornano ad essere contenuti, mentre in maggio superano i $1000 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ a causa della notevole presenza nuovamente di *Mougeotia* sp. Il picco annua-

le di biomassa algale riscontrato in giugno ($1193 \text{ mm}^3/\text{m}^3$) è dovuto soprattutto all'apporto delle Diatomeae (*Fragilaria crotonensis* Kitton ed *Asterionella formosa* Hassal) e delle Dinophyceae (*Ceratium hirundinella*); inoltre risultano ancora abbondanti le Chlorophyta. Nel mese di luglio i valori di biovolume ritornano ad abbassarsi e comincia ad aumentare l'apporto delle Cyanophyta. In agosto si assiste ad un nuovo incremento di biovolume, che raggiunge un valore di $1030 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ ed è dovuto per quasi il 90% alle Cyanophyta, in particolare al complesso *Planktothrix rubescens/agardhii* Anagnostidis e Komarek. Da settembre in poi il popolamento fitoplanctonico del lago diminuisce sensibilmente.

Confrontando i valori di biovolume riscontrati nei campioni relativi alla colonna integrata a profondità fissa (0-20 m) con quelli relativi alla colonna integrata di profondità corrispondente alla zona eufotica (Tab. III), non si riscontrano differenze significative nei mesi di maggio, giugno, agosto e settembre, dove peraltro è anche minima la differenza dell'altezza della colonna investigata. Nei mesi di luglio e ottobre, il biovolume della colonna 0-20 m risulta più alto di quello relativo alla zona eufotica; in particolare in ottobre il campione relativo alla zona eufotica, calcolata di 30 metri, presenta un biovolume minore rispetto alla colonna 0-20 metri, come a dire che sotto i venti metri la densità algale diminuisce rapidamente. Viceversa nel campionamento di maggio, dove la zona eufotica era rappresentata dallo strato 0-9 metri, il biovolume risulta minore (-21%) rispetto a quello dello strato 0-20 metri, indicando la presenza significativa di alghe anche al di sotto di quella che è stata definita la zona eufotica.

Pertanto per il lago di Garda, si può concludere che lo strato 0-20 m è esaustivo della produttività algale in esso presente, come già osservato in un precedente lavoro di tesi (MONTANARI, 2002).

È stata effettuata l'analisi dell'andamento stagionale dei gruppi maggiormente rappresentati in termini di biovolume.

Le Cyanophyta (Fig. 2) evidenziano valori di biomassa sempre maggiori nei campioni relativi alla colonna 0-20 m nel periodo estivo: questo fatto è imputa-

Tab. III. Confronto tra i biovolumi riscontrati nei campioni relativi alla colonna integrata di profondità corrispondente alla zona eufotica con quelli relativi alla colonna integrata a profondità fissa (0-20 m) nel lago di Garda.

	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre
ampiezza zona eufotica (m)	0-24	0-17	0-9	0-16,5	0-17	0-30
biovolume zona eufotica (mm^3/m^3)	927	1130	346	954	319	168
biovolume colonna 0-20m (mm^3/m^3)	1023	1193	465	1030	316	273
deviazione standard	68	45	84	54	2	74
CV	7	4	21	5	1	34

bile al particolare comportamento ecologico degli organismi appartenenti al complesso *Planktothrix rubescens/agardhii* che sono i cianobatteri in assoluto maggiormente rappresentati nel lago di Garda. Questi organismi contengono pigmenti specifici che conferiscono loro la capacità di captare in modo efficiente la radiazione luminosa anche a bassa lunghezza d'onda. Inoltre *Planktothrix rubescens/agardhii* può essere considerata una specie stenoterma fredda, quindi adattata a bassi valori di temperatura (FINDENEGG, 1974); nei mesi con stratificazione termica è nota la sua tendenza ad addensarsi al margine inferiore del metalimnio, al limite della zona eufotica dove trova le condizioni di temperatura e di luce più adatte; risulta quindi più abbondante nella colonna 0-20 m. Nel periodo autunnale, quando diminuisce la temperatura negli strati superficiali, si nota invece una omogenea distribuzione

di *Planktothrix rubescens/agardhii* lungo la colonna d'acqua e non si evidenziano differenze fra le due colonne esaminate.

Le Diatomeae (Fig. 3) si distribuiscono in maniera abbastanza omogenea lungo la colonna; questo gruppo è avvantaggiato nei periodi di piena circolazione (primavera e autunno) perché sfrutta i movimenti delle masse d'acqua per mantenersi a galla e quindi avere a disposizione nutrienti e radiazione luminosa.

L'analisi dell'andamento stagionale nel periodo maggio-ottobre rispecchia le loro abitudini ecologiche, in quanto si nota una netta diminuzione quando aumenta la stabilità della colonna d'acqua. Nel complesso risultano più abbondanti nella colonna 0-20 metri.

Le Chlorophyta (Fig. 4) sono rappresentate in massima parte da *Mougeotia sp.* Il grande sviluppo di quest'alga risulta favorito sia dalla sua buona capacità

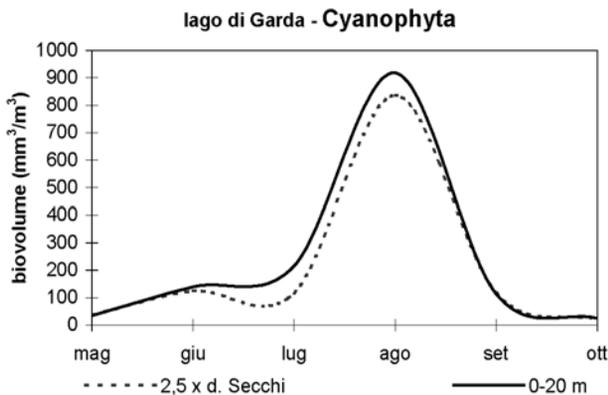


Fig. 2. Lago di Garda: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Cyanophyta nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

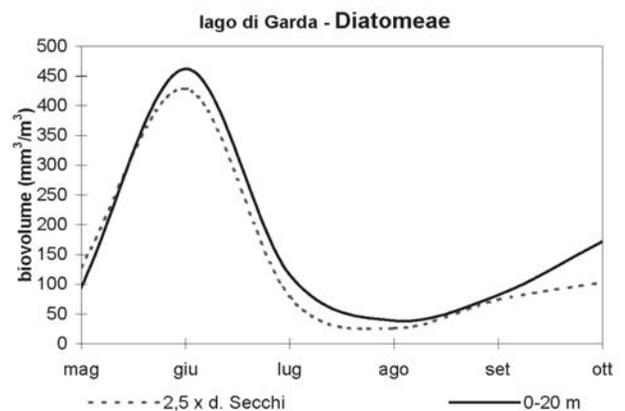


Fig. 3. Lago di Garda: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Diatomeae nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

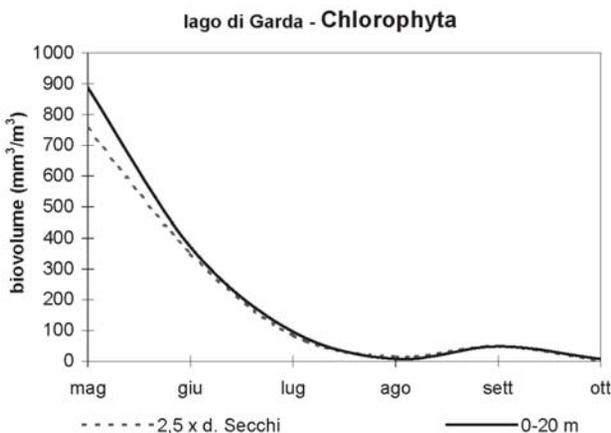


Fig. 4. Lago di Garda: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Chlorophyta nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

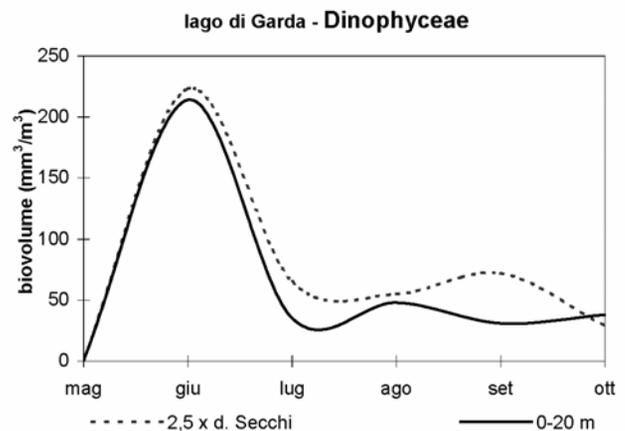


Fig. 5. Lago di Garda: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Dinophyceae nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

di competere per il fosforo (SOMMER, 1987), sia dalla sua resistenza alla predazione (grazing), sia dalla tendenza a non cadere verso il fondo (sinking) (SALMASO, 2000).

Nel periodo primaverile, che è quello di maggior sviluppo di *Mougeotia* sp., il biovolume risulta superiore nella colonna 0-20 metri mentre per tutta l'estate e l'inizio dell'autunno la distribuzione è molto omogenea.

Le Dinophyceae (Fig. 5) sono uniformemente distribuite in primavera, mentre in estate sono più abbondanti nella zona eufotica.

Questo fatto è dovuto prevalentemente alle condizioni ottimali per il loro sviluppo riscontrate negli strati più superficiali. Infatti, la crescita lenta di queste grandi specie fa sì che si sviluppino preferenzialmente in condizioni di stabilità della colonna di acqua; inoltre molti di questi organismi sono in grado di regolare il galleggiamento e si muovono verticalmente per sfruttare le risorse offerte dall'intera colonna a seconda delle loro esigenze ecologiche (HARRIS, 1994).

Analisi del popolamento fitoplanctonico del lago di Caldonazzo

I dati relativi al popolamento fitoplanctonico del lago di Caldonazzo mettono in evidenza una biomassa che si mantiene moderatamente contenuta (inferiore a $1000 \text{ mm}^3/\text{m}^3$) nella maggior parte dei campionamenti effettuati (Fig. 6). La media di tutti i prelievi risulta infatti pari a $653 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, ma durante l'anno è stato possibile evidenziare un picco di quasi $2000 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ in aprile.

Nel resto dell'anno, valori più consistenti di biomassa algale sono stati registrati in marzo, luglio e novembre; i mesi invernali ed anche la maggior parte di quelli estivi sono invece stati caratterizzati da una bassa produttività.

Dal punto di vista della composizione della comunità algale, si può rilevare come il gruppo delle Diatomeae risulti dominante durante la maggior parte dell'anno; sono proprio queste alghe infatti a determinare i picchi di biomassa primaverili e autunnali ed inoltre sono presenti in grande quantità anche nel campionamento di luglio. Il gruppo delle Diatomeae nel lago di Caldonazzo è rappresentato soprattutto dalle specie *Asterionella formosa* (responsabile degli alti valori di biovolume del mese di novembre), *Fragilaria croto-*

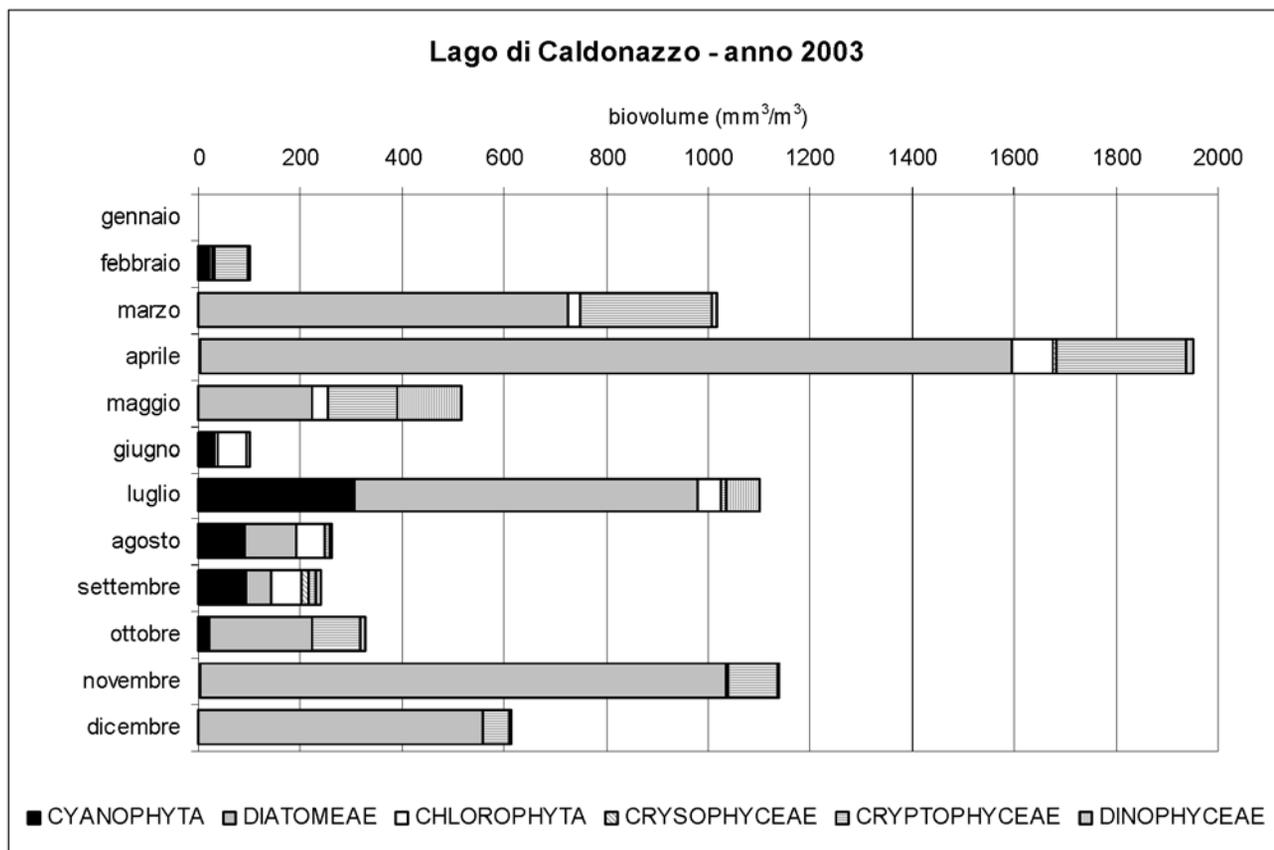


Fig. 6. Andamento del popolamento fitoplanctonico nel lago di Caldonazzo relativamente alla colonna integrata 0-20 m.

Tab. IV. Confronto tra i biovolumi riscontrati nei campioni relativi alla colonna integrata di profondità corrispondente alla zona eufotica con quelli relativi alla colonna integrata a profondità fissa (0-20 m) nel lago di Caldonazzo.

	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre
ampiezza zona eufotica (m)	0-15	0-12,5	0-9	0-8,5	0-9,5	0-20
biovolume zona eufotica (mm³/m³)	484	152	1272	250	304	327
biovolume colonna 0-20m (mm³/m³)	514	101	1099	263	239	327
deviazione standard	21	37	122	9	46	0
CV	4	29	10	3	17	0

nensis e da *Cyclotella* sp. Kuetzing, quest'ultima abbondantissima durante i mesi primaverili.

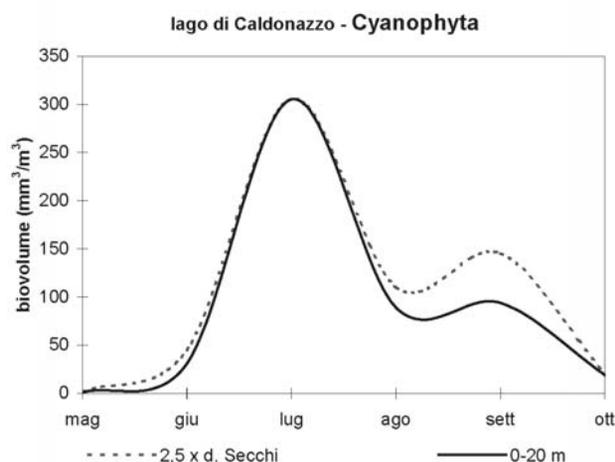
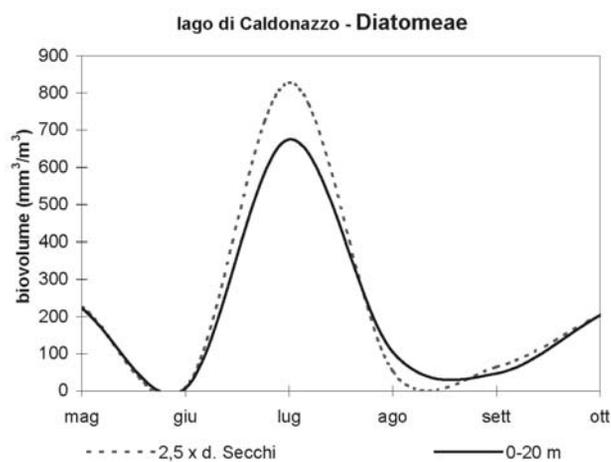
Le Cryptophyceae costituiscono un altro gruppo algale presente nel lago praticamente tutto l'anno, seppure in certi mesi con valori di biovolume molto bassi; tra queste, vanno ricordate in particolare *Cryptomonas erosa/reflexa*, *Cryptomonas marssonii* Skuja, *Cryptomonas rostriformis* Skuja, *Plagioselmis nannoplantica* (Skuja) Novarina & Lucas e *Rhodomonas minuta* Skuja. Anche gli organismi appartenenti al gruppo delle Dinophyta (*Ceratium hirundinella*, *Peridinium inconspicuum* Lemmermann e *Peridinium aciculiferum* Lemmermann, *Gymnodinium helveticum* e *Glenodinium* sp. (Ehrenberg) Stein) sono presenti in tutti i campionamenti dell'anno ma non raggiungono mai valori di biovolume particolarmente significativi.

Le Chlorophyta sono in generale poco presenti in termini di biomassa nel lago di Caldonazzo ed anche come percentuali relative non costituiscono mai un gruppo abbondante; sono state trovate soprattutto nei mesi tardo-primaverili ed estivi e risultano rappresentate in particolare da *Coelastrum reticulatum* Dangeard e *Coelastrum astroideum* De Notaris, *Elakatothrix* spp., *Lagheremia* spp. e *Oocystis* spp.

Per quanto riguarda le Cyanophyta, questo gruppo è presente nei mesi che vanno da giugno ad ottobre; risulta rappresentato da specie coloniali non filamentose con cellule di pochissimi micron di diametro (*Aphanocapsa* spp. Naegeli, *Microcystis* spp. Kuetzing ex Lemmarmann, *Coelosphaerium kuetzingianum* Naegeli) e che pertanto non incidono in maniera notevole sul biovolume algale pur risultando molto abbondanti in termini di cellule/litro.

Confrontando i valori di biovolume riscontrati nei campioni relativi alla colonna integrata a profondità fissa (0-20 m) con quelli relativi alla colonna integrata di profondità corrispondente alla zona eufotica (Tab. IV), non si riscontrano sostanziali differenze: il coefficiente di variazione tra i campioni dello stesso mese, infatti, varia da un minimo di 3 in agosto ad un massimo di 29 in giugno, dove il biovolume relativo alla colonna 0-12,5 metri risulta più alto rispetto a quello relativo alla colonna fissa; nel mese di ottobre la zona eufotica coincide con la colonna 0-20 metri.

Nei grafici è riportato il confronto tra le successioni dei singoli gruppi nei vari mesi, tenendo conto che in ottobre la zona eufotica è coincisa con la colonna fissa

**Fig. 7.** Lago di Caldonazzo: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Cyanophyta nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.**Fig. 8.** Lago di Caldonazzo: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Diatomeae nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

0-20 metri.

Le Cyanophyta (Fig. 7) sono tipiche del periodo estivo-autunnale; risultano distribuite in maniera uniforme nella colonna fissa 0-20 metri e nella zona eufotica durante la primavera e i primi mesi dell'estate, mentre a partire da agosto tendono ad essere più concentrate nella colonna determinata come 2,5 x Disco di Secchi (che in questi mesi ha uno spessore sempre inferiore alla colonna fissa).

La differenza sembra essere determinata dalle Cyanophyta coloniali *Microcystis* spp. e *Coelosphaerium kuetszingianum* che sono più abbondanti in questi mesi negli strati più superficiali.

Le Diatomeae (Fig. 8), normalmente più abbondanti nel periodo primaverile e autunnale perché avvantaggiate dalle condizioni di rimescolamento, presentano un picco nel mese di luglio dovuto a *Fragilaria crotonensis*, che risulta decisamente più concentrata negli strati superficiali.

Le Cryptophyceae (Fig. 9) risultano molto più abbondanti in primavera e in autunno, mentre in estate sono presenti con valori di biovolume bassissimi; la loro distribuzione nelle colonne esaminate sembra molto irregolare, anche se nel mese di maggio vi è una maggiore concentrazione nella colonna 0-20 metri rispetto alla zona eufotica (0-15 metri) a testimonianza di un accumulo negli strati più profondi di *Cryptomonas erosa/reflexa*, *Cryptomonas marssonii*, *Plagioselmis nannoplanctica* e *Rhodomonas minuta*.

Le Dinophyceae (Fig. 10) sono maggiormente presenti nella zona eufotica fino ad agosto con differenze che risultano davvero notevoli nel mese di giugno (52 mm³/m³ nella colonna 0-12,5 metri contro 5 mm³/m³ nella colonna 0-20 metri).

Evidentemente questi organismi, in grado di muoversi con facilità lungo la colonna d'acqua, trovano le condizioni migliori per il loro sviluppo negli strati più superficiali.

Analisi del popolamento fitoplanctonico del lago di Serrai

L'analisi del popolamento fitoplanctonico del lago di Serrai (Fig. 11) evidenzia una notevole produttività algale.

In aprile i valori di biovolume hanno raggiunto un picco di 6000 mm³/m³ mentre in settembre ed ottobre hanno superato i 3500 mm³/m³; in ogni caso, anche al di là di questi picchi, la biomassa fitoplanctonica del lago risulta sempre molto elevata e supera molto spesso i 2000 mm³/m³, valore limite secondo diversi autori per considerare un lago eutrofico utilizzando come indicatore di stato trofico la produttività algale.

La composizione del popolamento fitoplanctonico nei mesi primaverili è costituita quasi esclusivamente

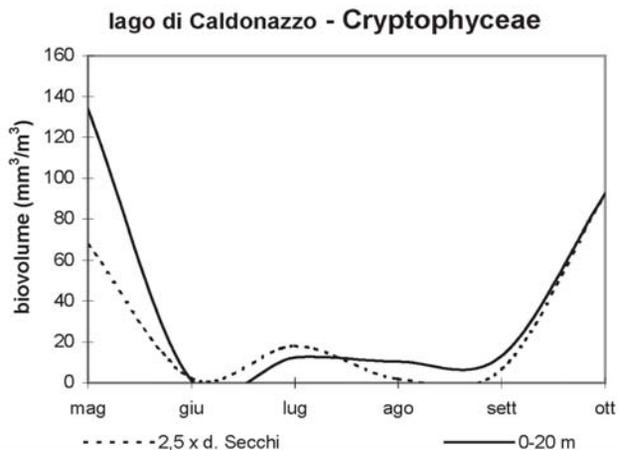


Fig. 9. Lago di Caldonazzo: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Cryptophyceae nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

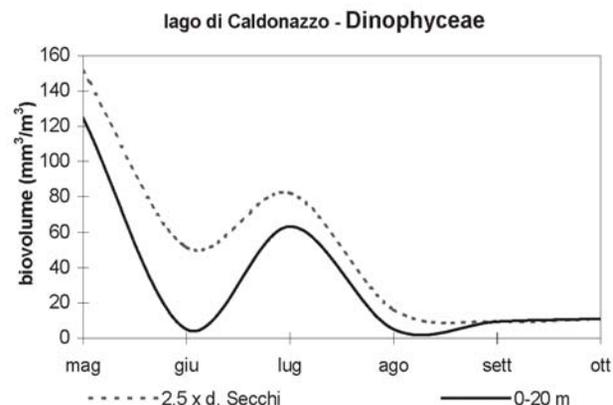


Fig. 10. Lago di Caldonazzo: andamento nel periodo produttivo (maggio-ottobre) del gruppo delle Dinophyceae nelle colonne 0-20 m e 2,5 x DS.

dal gruppo delle Cryptophyceae, soprattutto con *Cryptomonas rostratiformis*. In giugno cominciano ad essere presenti in maniera massiccia le Dinophyceae (*Ceratium hirundinella* in particolare), le quali sono presenti con valori importanti fino ad agosto; in questo stesso mese risultano avere un peso notevole sul biovolume totale anche le Chlorophyta, soprattutto con *Mougeotia* sp., che da sola costituisce il 57% della biomassa fitoplanctonica totale.

A settembre ed ottobre si assiste alla dominanza delle Cyanophyta (*Aphanizomenon yezoense* Watanabe in particolare, secondariamente *Anabaena spiroides* Klebahn e *Anabaena circinalis* Rabenhorst ex Bornet & Flahault).

Per il lago di Serrai è stata campionata solo la zona eufotica (2,5 x Disco Secchi) a causa della sua esigua profondità che non rende significativa l'adozione di una colonna fissa di campionamento.

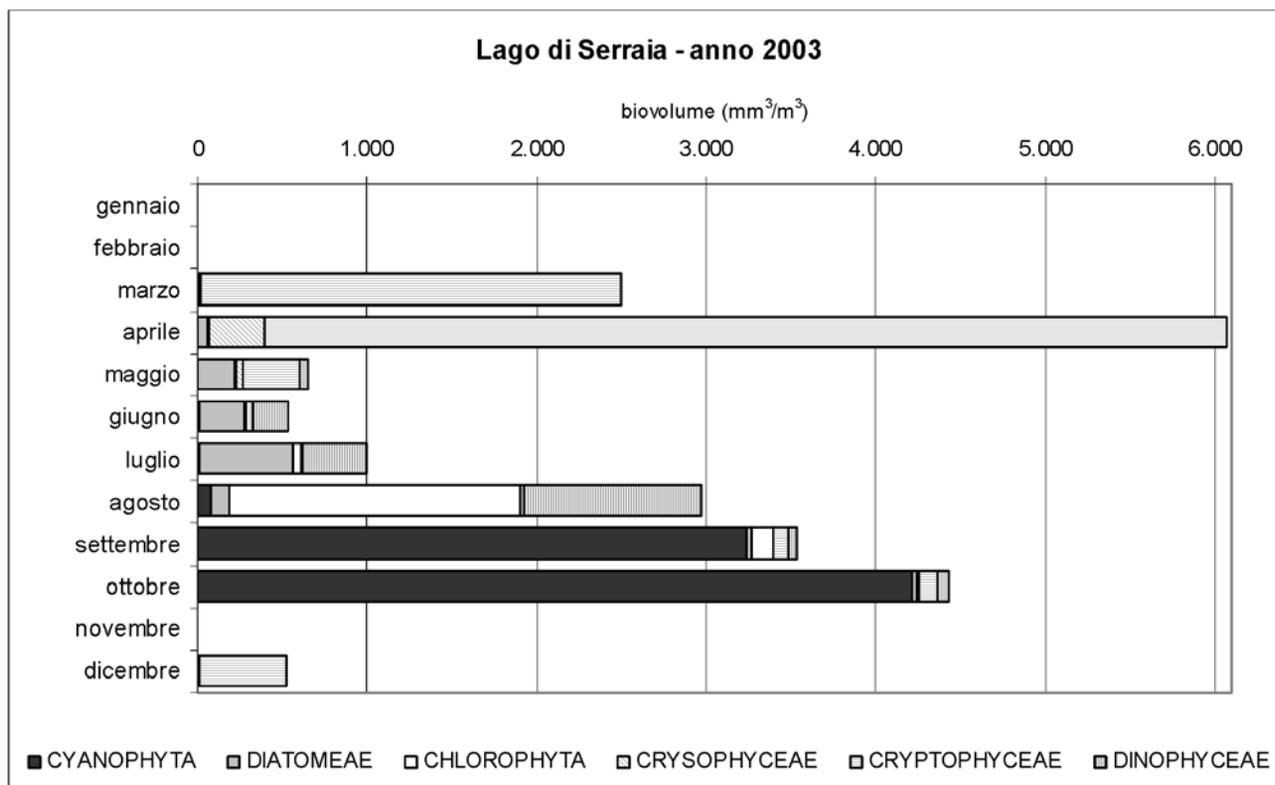


Fig. 11. Andamento del popolamento fitoplanctonico nel lago di Serrai per la colonna relativa alla zona eufotica.

Confronto tra indici di stato trofico

Gli indicatori di stato trofico comunemente utilizzati nella classificazione delle acque dei laghi (clorofilla *a*, fosforo totale, trasparenza e ossigeno disciolto) possono essere affiancati dall'analisi del biovolume del popolamento fitoplanctonico.

Il confronto tra la classificazione trofica ottenuta applicando i principali indici che utilizzano clorofilla *a*, trasparenza e fosforo e quella ricavata dai valori di biovolume algale è riassunto nella tabella V.

Il lago di Garda mostra nel complesso una condizione di mesotrofia; gli indici basati sulla clorofilla e sul fosforo spingono la classificazione verso la mesotrofia, mentre i valori di trasparenza indicano uno stato trofico più basso. Per quanto riguarda il biovolume algale, le indicazioni proposte da Rott e da Willen classificano il lago di Garda come mesotrofico, mentre l'interpretazione proposta da Hakanson indica una condizione di oligotrofia. Non si rilevano differenze di classificazione tra i valori ottenuti considerando la colonna fissa 0-20 metri e quelli ottenuti considerando lo strato eufotico.

Nel lago di Caldonazzo le indicazioni fornite dalla popolazione algale sono fortemente condizionate dai bassi valori di biovolume riscontrati nel periodo estivo, in quanto il popolamento è caratterizzato soprattutto da

Cyanophyta coloniali coccali con cellule di piccole dimensioni. Considerando che i valori di clorofilla *a* conducono ad una classificazione di mesotrofia, si può ipotizzare che in questo caso la quantità di questo pigmento sia direttamente correlabile alla superficie esposta alla luce (che è elevata in cellule sferiche di piccolo diametro) e quindi al numero di cellule, piuttosto che al biovolume totale. Anche in questo caso comunque non si riscontrano differenze tra le due colonne esaminate.

Le indicazioni proposte da Rott, che considera la media di tutti i campionamenti effettuati durante l'anno, portano invece il lago di Caldonazzo ad una classificazione di mesotrofia, come quasi tutti gli indici tradizionali.

Per quanto riguarda il lago della Serrai, il complesso degli indicatori porta ad una definizione di netta eutrofia.

Gli indici proposti da Hakanson e Willen prescrivono di considerare il biovolume medio del periodo produttivo maggio-ottobre. A nostro parere il quadro dello stato trofico così ottenuto andrebbe rivisto alla luce delle ovvie differenze tra la localizzazione geografica dei laghi considerati in questo lavoro e quella dei laghi svedesi sui quali questi indici sono stati tarati: il periodo produttivo infatti alle nostre latitudini po-

trebbe essere più correttamente individuato nei mesi che vanno da marzo ad ottobre e verrebbe quindi a comprendere la fioritura primaverile di diatomee. Alla

luce di queste considerazioni, la media del periodo produttivo considerando il campionamento relativo alla colonna 0-20 m diventerebbe per il lago di Garda di

Tab. V. Confronto tra la classificazione trofica ottenuta applicando i principali indici che utilizzano clorofilla "a", trasparenza e fosforo e quella ricavata dai valori di biovolume algale.

	GARDA		CALDONAZZO		SERRAIA
TSI $_{Chla}$	mesotrofico (42,2)		mesotrofico (44,2)		eutrofico (61,5)
TSI $_{DS}$	oligotrofico (26,2)		oligotrofico (34,8)		mesotrofico (44)
TSI $_{TP}$	mesotrofico 0-fondo (47,4)	oligo-mesotrofico 0-20m (40)	eutrofico 0-fondo (52,2)	mesotrofico 0-20m (44,2)	eutrofico (59,7)
OECD (P medio $\mu\text{g/l}$)	mesotrofico 0-fondo (20)	mesotrofico 0-20 m (12)	mesotrofico 0-fondo (28)	mesotrofico 0-20 m (16)	eutrofico (47,2)
OECD (chla media $\mu\text{g/l}$)	mesotrofico (3,3)		mesotrofico (4)		eutrofico (23,3)
OECD (chla max $\mu\text{g/l}$)	oligotrofico (7,4)		mesotrofico (10,9)		eutrofico (43,1)
OECD (DS medio m)	oligotrofico (10,4)		mesotrofico (5,7)		meso-eutrofico (3)
OECD (DS min m)	oligotrofico (3,5)		oligotrofico (3,4)		iper-eutrofico (1,4)
	colonna 0-20 m	2,5 x disco Secchi	colonna 0-20 m	2,5 x discoSecchi	2,5 x disco Secchi
ROTT	mesotrofico	mesotrofico	mesotrofico	mesotrofico	eutrofico
HAKANSON	oligotrofico	oligotrofico	oligotrofico	oligotrofico	eutrofico
WILLEN	mesotrofico	mesotrofico	oligotrofico	oligotrofico	eutrofico I
	GARDA		CALDONAZZO		SERRAIA
TSI $_{Chla}$	mesotrofico (42,2)		mesotrofico (44,2)		eutrofico (61,5)
TSI $_{DS}$	oligotrofico (26,2)		oligotrofico (34,8)		mesotrofico (44)
TSI $_{TP}$	mesotrofico 0-fondo (47,4)	oligo-mesotrofico 0-20m (40)	eutrofico 0-fondo (52,2)	mesotrofico 0-20m (44,2)	eutrofico (59,7)
OECD (P medio $\mu\text{g/l}$)	mesotrofico 0-fondo (20)	mesotrofico 0-20 m (12)	mesotrofico 0-fondo (28)	mesotrofico 0-20 m (16)	eutrofico (47,2)
OECD (chla media $\mu\text{g/l}$)	mesotrofico (3,3)		mesotrofico (4)		eutrofico (23,3)
OECD (chla max $\mu\text{g/l}$)	oligotrofico (7,4)		mesotrofico (10,9)		eutrofico (43,1)
OECD (DS medio m)	oligotrofico (10,4)		mesotrofico (5,7)		meso-eutrofico (3)
OECD (DS min m)	oligotrofico (3,5)		oligotrofico (3,4)		iper-eutrofico (1,4)
	colonna 0-20 m	2,5 x disco Secchi	colonna 0-20 m	2,5 x discoSecchi	2,5 x disco Secchi
ROTT	mesotrofico	mesotrofico	mesotrofico	mesotrofico	eutrofico
HAKANSON	oligotrofico	oligotrofico	oligotrofico	oligotrofico	eutrofico
WILLEN	mesotrofico	mesotrofico	oligotrofico	oligotrofico	eutrofico I

Tab. VI. confronto tra le classificazioni trofiche dei tre laghi secondo le indicazioni di Hakanson e Willen (media maggio-ottobre) e considerando un periodo produttivo più adatto alle nostre latitudini (media marzo-ottobre).

media biovolume **maggio-ottobre**

	mm^3/m^3	classif. secondo Hakanson	classif. secondo Willen
lago di Garda	718	oligotrofico	mesotrofico
lago di Caldonazzo	424	oligotrofico	oligotrofico
lago di Serraia	2185	eutrofico	eutrofico I

media biovolume **marzo-ottobre**

	mm^3/m^3	classif. secondo Hakanson	classif. secondo Willen
lago di Garda	692	oligotrofico	mesotrofico
lago di Caldonazzo	689	oligotrofico	mesotrofico
lago di Serraia	2710	ipertrofico	eutrofico II

692 contro 718 mm³/m³, per il lago di Caldonazzo di 689 mm³/m³ contro 424, per il lago di Serrai di 2710 contro 2185 mm³/m³.

Queste modifiche varierebbero la classificazione dello stato trofico per il lago di Caldonazzo, per il quale si passerebbe da oligotrofia a mesotrofia, e per il lago della Serrai, per il quale si passerebbe da eutrofia a ipertrofia secondo Hakanson, e da eutrofia I ad eutrofia II secondo Willen (vedi tabella VI).

CONCLUSIONI

In conclusione l'analisi del popolamento fitoplanctonico e relativa stima in termini di biovolume:

1. dà utili indicazioni per la definizione di stato trofico di un ecosistema lacustre;
2. contribuisce a chiarire alcuni aspetti che non emergono direttamente dall'analisi della clorofilla: ad esempio il lago di Caldonazzo nel periodo estivo

presenta elevata attività fotosintetica (con elevate produzioni di ossigeno superficiale) non supportata da alti valori di biovolume. Nel lago di Garda, al contrario, si assiste in alcuni periodi a valori contenuti di clorofilla a fronte di una produttività algale di rilievo (come accade ad esempio nel mese di agosto quando la biomassa algale è sostenuta soprattutto dal complesso *Planktothrix rubescens/agardhii*, caratterizzato da un corredo fotosintetico peculiare);

3. ottempera a quanto previsto dalla direttiva 2000/60 CE per quanto attiene la definizione di stato ecologico dei laghi attraverso gli elementi di qualità biologica;
4. dopo un periodo di collaudo del protocollo di lavoro e previa un'adeguata conoscenza dei gruppi tassonomici, risulta una metodica relativamente speditiva, applicabile ad una rete di monitoraggio di routine dei laghi in associazione con i principali parametri chimico-fisici.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1988. *Kompandium für undervisingen. Limnologi Phytoplankton*. Bildbel. Limnologiska Institutionen, Uppsala, 133 pp.
- ANAGNOSTIDIS K., KOMÁREK J., 1988. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 3-Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **80** (1-4): 327-472.
- BOURRELLY P., 1968. *Les algues d'eau douce. Bd. 2, Les algues jaunes et brunes. Chrysophycees, Phaeophycées, Xanthophycées et Diatomées*. N. Boubée e Cie, Paris, 517 pp.
- BOURRELLY P., 1972. *Les algues d'eau douce. Bd. 1, Les algues vertes*. N. Boubée et Cie, Paris, 569 pp.
- CARLSON R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. and Ocean.* **22**: 361-369.
- CARLSON R.E., SIMPSON J., 1996. *A co-ordinator's guide to volunteer lake monitoring methods*. North American Lake Management Society, 96 pp.
- ETTL H., GÄRTNER G., 1988. *Süßwasserflora von Mitteleuropa - Chlorophyta II - Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales*. Gustav Fischer Verlag, Jena, 437 pp.
- FINDENEGG I. 1974. Über die Lichtansprüche planktischer Süßwasseralgae. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien*, **155**: 159-171.
- GERMAIN H., 1981. *Flore des Diatomées - Diatomophycées*. Société Nouvelle des Editions Boubée, Paris.
- HARRIS G., 1994. Ecologia del fitoplancton. Strutture, funzioni e fluttuazioni. In: *Ecologia e scienze ambientali*. C.L.U., Bologna, 256 pp.
- HAKANSON L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research* **14**: 975-1001.
- HILLEBRAND H., DURSELEN C.D., KIRSCHTEL D., POLLINGER U., ZOHARY T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* **35**: 403-424.
- HOEHN E., CLASEN J., SCHARF W., KETELAARS H., NIENHÜSER A., HORN H., KERSKEN H., EWIG B., 1998. *Erfassung und bewertung von planktonorganismen*. Arbeitsgemeinschaft Trinkwassersperren e. V. Arbeitskreis Biologie. Oldenbourg, München, 151 pp.
- JAVORNICKÝ P., 2001. Freshwater *Rhodomonas* (Chryptophyceae). *Algological Studies*, **102**: 93-116.
- KÄRNTNER INSTITUT FÜR SEENFORSCHUNG, 1984. *Leitfaden zur Bestimmung der Planktischen Algen der Kärntner Seen und ihrer Biomasse*. Gerhild Deisinger Klagenfurt, 64 pp.
- KOMÁREK J., ANAGNOSTIDIS K., 1998. *Süßwasserflora von Mitteleuropa - Cyanoprokaryota I. Teil: Chroococcales*. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm, 512 pp.
- LUND J.W.G., KIPLING C., LE CREN E.D., 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* **11**: 143-170.
- MONTANARI P., 2002. *Stagionalità e stratificazione del fitoplancton in una postazione di monitoraggio dell'alto lago di Garda*. Tesi di laurea in Sc. Naturali, Univ. di Milano, 103 pp.
- NOVARINO G., LUCAS I.A.N., MORRALL S., 1994. Observations on the genus *Plagioselmis* (Cryptophyceae). *Cryptogamie Algol.*, **15** (2): 87-107.
- O.E.C.D., 1982. *Eutrophication of lakes: monitoring, assessment and control*. OECD, Paris, 150 pp.
- ROTT E., 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibration. *Schweiz. Z. Hydrol.* **43** (1): 34-62.
- ROTT E., 1984. Phytoplankton as biological parameter for the trophic characterisation of lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **22**: 1078-1085.

- SALMASO N., 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. *Hydrobiologia* **438**: 43-63.
- SOMMER U., 1987. Factors controlling the seasonal variation in phytoplankton species composition. A case study for a deep, nutrient rich lake. *Prog. Phyc. Res.* **5**: 123-178.
- STARMACH K., 1985. *Süßwasserflora von Mitteleuropa - Chrysophyceae und Haptophyceae*. Gustav Fischer Verlag, Jena, 515 pp.
- UTERMÖHL H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* **9**: 1-38.
- WILLEN E., 2000. Phytoplankton in water quality assessment - an indicator concept. In: Heinonen P., Ziglio G., Van der Becken A.(eds.), *Hydrological and Limnological Aspects of lake monitoring*. Wiley: 62-80.