

4.5. Considerazioni generali sulla dinamica dei popolamenti planctonici

4.5.1. Fitoplancton

4.5.1.1. Clorofilla e biovolume

Nell'arco del quinquennio 2003-2007 lo studio delle associazioni fitoplanctoniche del Lago Maggiore ha evidenziato una sostanziale stabilità dei parametri legati alla diversità del fitoplancton, confermando quanto osservato nel quinquennio precedente. Se, infatti, da un lato si è verificato un ulteriore aumento del numero complessivo di specie censite, d'altra parte sia il numero medio di specie per campione, sia il numero di specie dominanti hanno mostrato solo delle leggere oscillazioni. Questi ultimi due indici sono certamente più rappresentativi della diversità biotica che non il numero complessivo delle specie ritrovate, nel quale entrano anche numerose specie rare, il cui peso, in termini di diversità, è spesso trascurabile.

La costante presenza di una trentina di specie dominanti rappresenta, indubbiamente, un segnale del ritorno del Lago Maggiore a condizioni stabili di bassa trofia, secondo quanto si è ampiamente discusso nei rapporti precedenti.

Rispecchiando la tendenza che si era già manifestata nel quinquennio precedente, negli ultimi cinque anni il biovolume medio annuo si è sempre mantenuto su valori inferiori ad $1 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$, ad eccezione del 2007, quando la fioritura primaverile di *Tabellaria flocculosa* ha riportato questo parametro sopra la soglia suddetta. La concentrazione media annua di clorofilla *a*, d'altra parte, ha raggiunto, in alcuni degli anni del quinquennio più recente (2004, 2006 e 2007), valori superiori a 3 mg m^{-3} , imputabili, per lo più, ad un incremento del contenuto medio intracellulare di pigmenti, come si deduce dall'andamento del rapporto tra clorofilla e biovolume (Fig. 4.5.1.1).

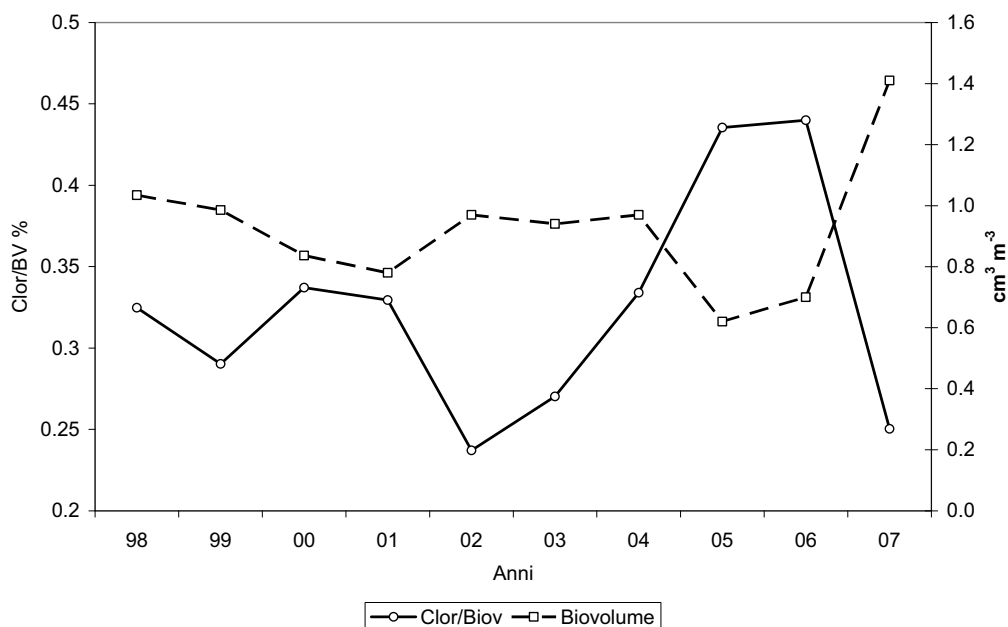


Fig. 4.5.1.1. Valore medio annuo del biovolume algale totale (linea tratteggiata) e del rapporto percentuale tra clorofilla e biovolume (linea continua).

Il significato di questo parametro è stato ampiamente discusso in rapporti precedenti: in questo contesto si ricorda come il contenuto in pigmenti delle cellule algali sia espressione dell'adattamento fisiologico alle diverse condizioni di radiazione luminosa subacquea. In particolare, un aumento di questo valore, indica un adattamento a situazioni di bassa radiazione luminosa, che si può verificare, per esempio, quando le alghe tendono a sedimentare in condizioni di scarsa turbolenza delle acque. Nell'ultimo quinquennio vi sono stati alcuni anni caratterizzati da scarsità di vento nei mesi invernali e ridotte profondità di mescolamento, secondo una tendenza ormai sempre più comune per il Lago Maggiore: queste condizioni possono avere favorito un aumento del contenuto cellulare in pigmenti delle diatomee, il popolamento algale che maggiormente contribuisce al valore medio annuo di clorofilla e biovolume totali.

4.5.1.2. Dinamica quinquennale del popolamento a diatomee

Per quanto riguarda la successione stagionale dei gruppi e delle specie dominanti, nell'arco del quinquennio la dinamica del fitoplancton ha mostrato alcuni elementi di variabilità: in particolare, la dinamica interannuale delle diatomee ha dato luogo ad alcune significative differenze nelle successioni stagionali, quindi vale la pena discutere in maggiore dettaglio le possibili cause che hanno determinato i differenti scenari osservati tra il 2003 ed il 2007.

Come è stato osservato in altre occasioni, la successione primaverile delle diatomee segue, nel Lago Maggiore, uno schema abbastanza classico, dettato dai tassi di crescita delle diverse specie, in funzione della rispettiva maggiore o minore abilità competitiva per il fosforo ed i silicati. Tipicamente, dunque, si osserva un primo sviluppo delle diatomee durante il mese di Marzo, dovuto a *Cyclotella*, organismo opportunista a rapida crescita, che sfrutta l'iniziale abbondanza di nutrienti, cui seguono *Asterionella formosa* e *Fragilaria crotonensis*, che rispondono meglio al calo dei nutrienti. *Tabellaria flocculosa* compare solitamente nella fase tardo-primaverile della successione. La sequenza di sviluppo delle specie può svolgersi con modalità e percorsi temporali differenti quando altri fattori, in particolare quelli fisici, modificano lo spettro di condizioni ambientali, favorendo una specie a scapito di altre. Nel quinquennio 2003–2007 abbiamo avuto due anni, il primo e l'ultimo della serie, caratterizzati da picchi anomali di specie di diatomee e da cambiamenti dello schema di successione (Fig. 4.5.1.2a): la primavera del 2003 ha visto un picco di *Fragilaria crotonensis*, mentre nel 2007 si è osservato un eccezionale sviluppo di *Tabellaria flocculosa*.

Inoltre, il 2005 ed il 2006, sebbene lo svolgimento della successione non abbia subito alterazioni, sono stati caratterizzati da uno scarso sviluppo del popolamento a diatomee.

In tutte queste occasioni, un'analisi comparata della dinamica delle diatomee e di alcuni parametri meteorologici, come intensità del vento nei mesi invernali e temperatura dell'aria, ha permesso di attribuire gli scostamenti dal consueto svolgimento della successione primaverile a caratteristiche particolari dell'ambiente fisico lacustre, indotte da precise condizioni climatiche. Tuttavia l'individuazione dello spettro di condizioni che favorisce una o l'altra specie non è semplice: alcune indicazioni si possono ricavare dall'applicazione di tecniche di ordinamento, in cui alcune variabili chimiche e fisiche sono messe in correlazione con la presenza dei principali *taxa* di diatomee. In questo caso, è stata utilizzata la tecnica detta Canonical Correspondence Analysis: a partire dai dati raccolti nel quinquennio 2003-2007, i parametri abiotici introdotti sono stati la temperatura dell'aria ed il vento filato nei mesi

di Gennaio, Febbraio e Marzo, la profondità di mescolamento per moti convettivi e la disponibilità di silice al mescolamento. Il fosforo non è stato incluso, perchè la sua concentrazione massima alla circolazione non cambia negli anni esaminati. Tali variabili sono state messe in correlazione con il biovolume raggiunto da *Tabellaria flocculosa*, *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* e *Cyclotella* spp. L'ordinamento risultante, che spiega il 74 % della varianza totale sui primi due assi, è riportato in figura 4.5.1.2b.

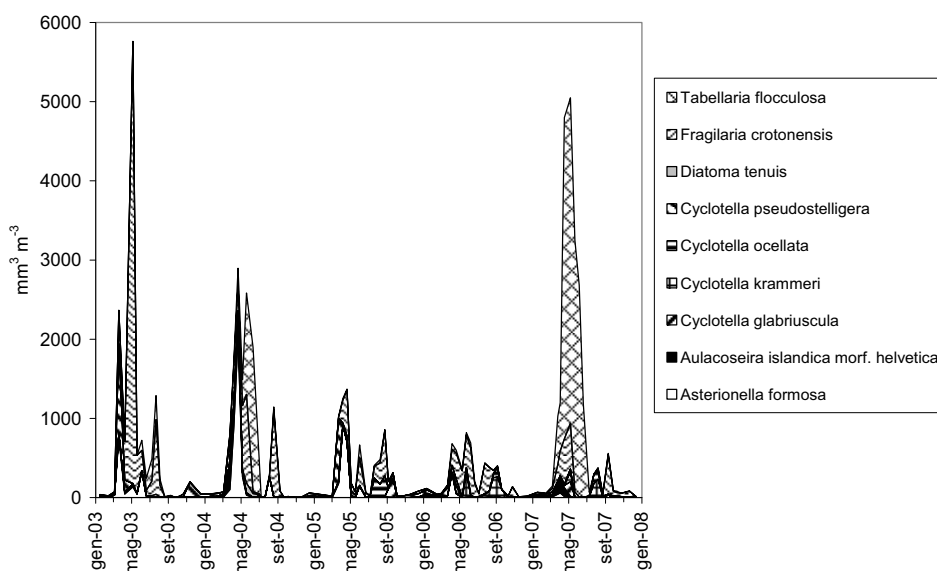


Fig. 4.5.1.2a. Successione delle specie principali di diatomee nel quinquennio 2003-2007.

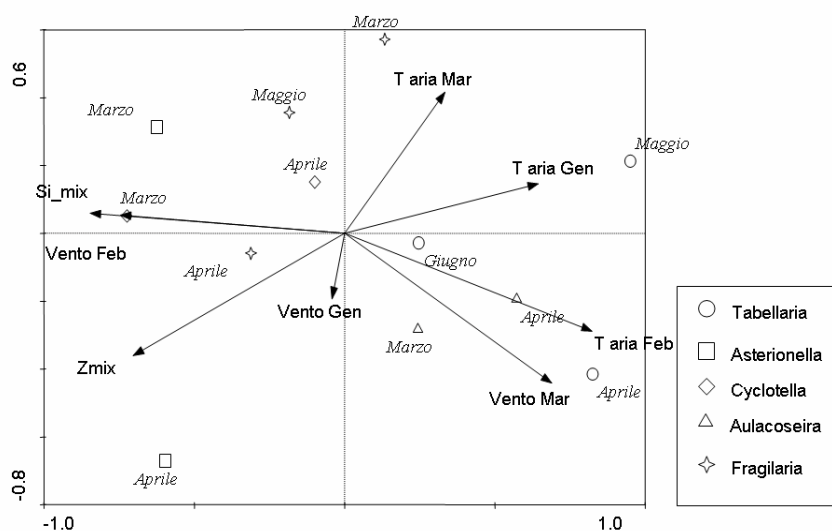


Fig. 4.5.1.2b. Ordinamento dei cinque principali generi di diatomee rispetto ad alcune variabili chimiche e fisiche. Il grafico si riferisce alla fase primaverile della successione ed i singoli punti nello spazio rappresentano i mesi in cui il *taxon* è presente.

Il primo asse di ordinamento è chiaramente individuato, sul lato positivo, dalla temperatura dell'aria nei mesi di Gennaio e Febbraio, mentre il lato negativo è associato alla profondità di mescolamento ed al vento filato di Febbraio. Il secondo asse viene individuato, prevalentemente, dalle condizioni climatiche del mese di Marzo, temperatura dell'aria nel quadrante positivo e vento in quello negativo.

La disposizione delle specie lungo i vettori delle variabili ambientali fornisce una prima indicazione abbastanza precisa sulle condizioni che possono avere favorito *Fragilaria crotonensis* nella primavera del 2003 e *Tabellaria flocculosa* in quella del 2007. Infatti, la disposizione dei campioni di *Fragilaria* mostra come questa specie sia dipendente dalla profondità di mescolamento e, in generale, cresca bene con temperature invernali basse: l'analisi, però, indica anche che uno stimolo alla sua crescita può venire da un aumento della temperatura in Marzo, come si deduce dalla posizione dei campioni lungo l'asse individuato dal vettore di questa variabile. Poiché le condizioni climatiche dell'inverno 2003 sono state caratterizzate da temperature atmosferiche piuttosto basse in Febbraio (rispetto agli altri anni del quinquennio), ma in deciso aumento in Marzo e da una profondità di mescolamento superiore ai 100 metri (limite che, nel precedente rapporto quinquennale, era stato individuato come critico per un consistente sviluppo di diatomee), *Fragilaria crotonensis*, grazie anche alla sua elevata capacità di competere per fosforo e silicati, ha probabilmente trovato uno spettro di condizioni ottimali per una crescita eccezionale.

Per quanto riguarda *Tabellaria flocculosa*, la posizione dei campioni di Aprile e Maggio indica una correlazione positiva con le temperature di Gennaio e Febbraio, segno che questa specie è stabilmente associata ad anni in cui gli inverni sono mediamente più caldi. Inoltre, dalla posizione dei campioni di Aprile rispetto al vettore del vento in Marzo, se ne può dedurre che *Tabellaria* è particolarmente favorita se il mese di Marzo è ventoso: questa combinazione di fattori è quella che si è verificata nel 2007, innescando lo sviluppo anomalo di questa specie. La preferenza di questa specie per acque mediamente più calde, potrebbe spiegare il suo scarso sviluppo nel 2005 e nel 2006, anni caratterizzati da primavere piuttosto fredde. Lo scarso biovolume primaverile misurato nel 2006 si deve anche al modesto sviluppo di *Asterionella formosa*: come si osserva in figura 4.5.2b, questa specie è chiaramente legata al vettore del vento di Febbraio, indicando che essa è favorita da condizioni meteorologiche che possono innescare un mescolamento sufficientemente profondo della colonna d'acqua. Il vento filato fu scarso nel Febbraio 2006 e la profondità di mescolamento per moti convettivi fu intorno a 90 metri, situazione evidentemente sfavorevole alla crescita di *Asterionella formosa*.

4.5.1.3. Le fioriture delle estati 2005, 2006 e 2007

Un altro fenomeno decisamente anomalo, che ha interessato il Lago Maggiore nel quinquennio in esame, manifestandosi nelle estati dal 2005 al 2007, è stata la fioritura del cianobattere *Anabaena lemmermannii*, che, soprattutto tra Luglio ed Agosto del 2005 si è estesa praticamente a tutto il bacino lacustre. Tale fenomeno, sebbene non nuovo per i grandi laghi subalpini [30], non era mai stato osservato nel Lago Maggiore. Gli studi effettuati sul Lago di Garda [30] hanno permesso di mettere in relazione queste fioriture con l'esistenza di condizioni di stabile stratificazione e temperature elevate della colonna d'acqua, che permettono il galleggiamento di quest'alga e la sua stratificazione superficiale. Sia nel 2005 che nel 2006 le condizioni fisiche dello strato

superficiale della colonna d'acqua nel Lago Maggiore erano certamente favorevoli allo sviluppo di questa specie, tuttavia condizioni analoghe si erano verificate anche in altri anni del quinquennio (per es. il 2003), senza che si verificasse alcuna fioritura. È dunque chiaro che, pur in presenza di uno spettro di condizioni ambientali potenzialmente favorevoli, è però necessario che intervengano altri fattori per innescare l'evento.

In un lavoro recente, Bertoni *et al.* [31] avanzano l'ipotesi che l'abbassamento di livello del lago possa essere una concausa dello sviluppo delle fioriture, perchè in una condizione di magra verrebbero sottoposti a lisi *post-mortem* gli organismi epilitici che colonizzano il litorale, determinando così le condizioni per un rilascio a lago di quantità notevoli di nutrienti. Secondo un calcolo preliminare, un abbassamento di livello del Lago Maggiore di oltre 1 m sotto la soglia dei 194 m s.l.m., come si è verificato nell'estate 2005 e 2006, su uno sviluppo della linea di costa di 170 km, porta all'esposizione di una superficie di litorale di circa 0,3 km² (assumendo una pendenza del litorale pari a 45°). Questa situazione rende disponibile una massa di carbonio organico compresa tra 1,2 e 12 t (assumendo una biomassa variabile da 4 a 40 g m⁻²) e, in accordo con il rapporto di Redfield di C:P, una massa di P compresa tra 11,3 e 113 kg [31].

In queste condizioni è però necessario un meccanismo che dia origine al trasporto dei nutrienti dalle sponde al lago: quello più plausibile è il dilavamento a seguito di eventi piovosi.

L'analisi dei dati relativi all'andamento dei livelli lacustri, delle precipitazioni giornaliere e della dinamica della fioritura, ci permette di verificare l'ipotesi esposta in precedenza: gli andamenti di questi parametri nel periodo Giugno-Agosto 2005 sono riportati in figura 4.5.1.3a.

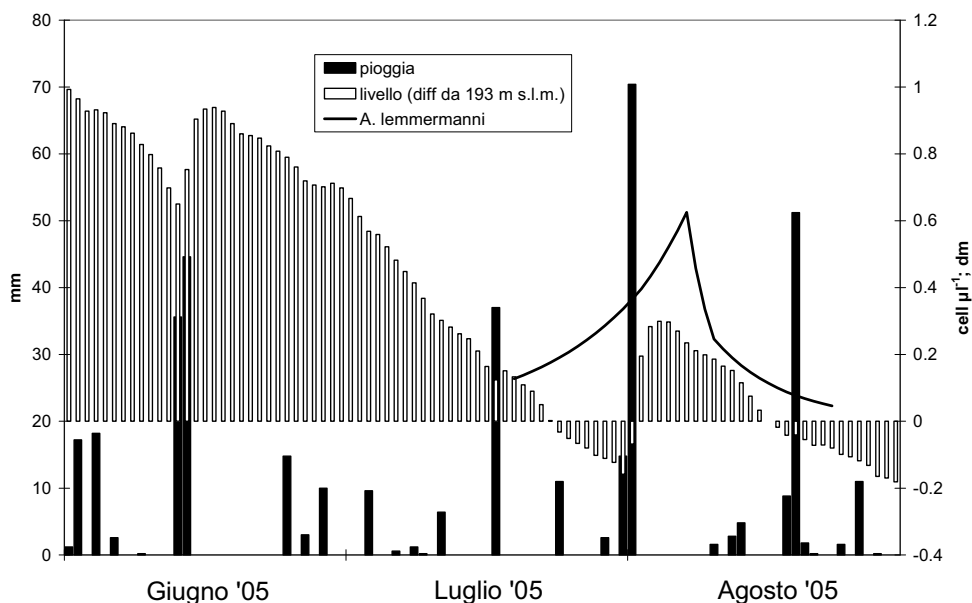


Fig. 4.5.1.3a. Estate 2005. Variazioni giornaliere del livello del lago come differenza rispetto alla quota di 193 m s.l.m. (scala a destra), precipitazioni giornaliere (scala a sinistra) e densità della popolazione di *Anabaena lemmermannii* (scala a destra).

Le densità di *Anabaena lemmermannii* sono state ricalcolate su base giornaliera, stimando il tasso di crescita tra due campionamenti successivi con l'equazione seguente:

$$\mu = \frac{\ln X_{t1} - \ln X_{t0}}{\Delta t}$$

dove X_{t1} e X_{t0} rappresentano le densità al tempo 1 ed al tempo 0 rispettivamente e Δt la distanza in giorni tra due campionamenti successivi.

Il parametro μ è stato quindi utilizzato per calcolare le variazioni giornaliere del numero di cellule.

Il grafico mostra chiaramente come la fioritura abbia inizio nel periodo in cui il livello del lago ha quasi raggiunto la quota di 1 metro sotto la soglia di 194 m s.l.m. ed è molto probabile che l'evento piovoso del 18 Luglio abbia fatto da innesco, trasportando a lago i nutrienti accumulati sul litorale. Con un successivo, ulteriore abbassamento del livello negli ultimi giorni di Luglio ed un altro importante evento di pioggia il 2 Agosto, ci potrebbe essere stato un ulteriore stimolo alla crescita, che ha raggiunto il picco il giorno 8 Agosto.

Una situazione analoga è stata quella dell'estate 2006, riportata in figura 4.5.1.3b. In questo caso il livello delle acque lacustri era già sceso sotto la quota di 193 m s.l.m. verso la fine di Giugno. L'abbassamento ha immediatamente coinciso con l'inizio della fioritura, che non ha tuttavia raggiunto le densità del 2005, probabilmente anche a causa, nel periodo di fine Giugno, dell'assenza di eventi piovosi sufficientemente intensi per il trasporto a lago di elevate quantità di nutrienti.

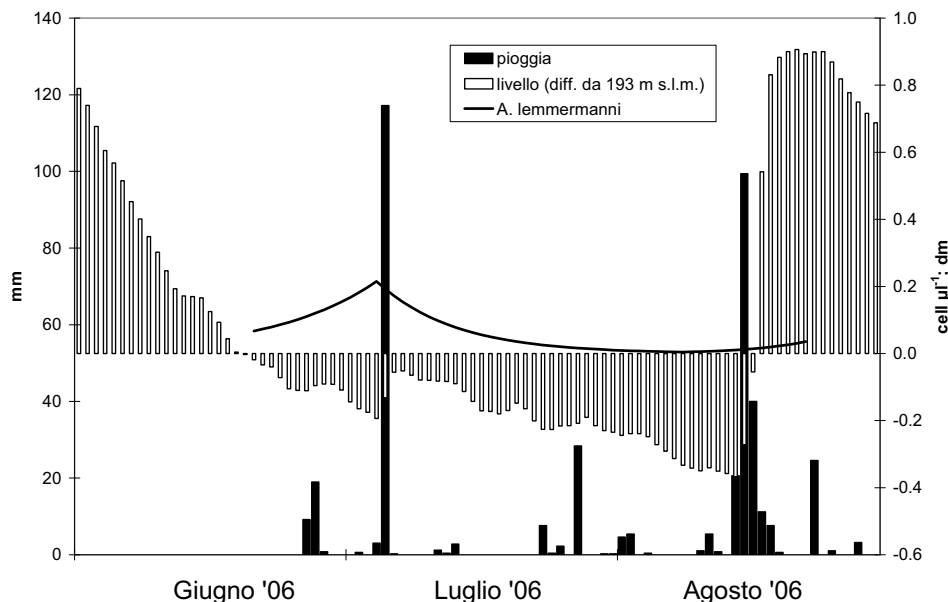


Fig. 4.5.1.3b. Estate 2006. Variazioni giornaliere del livello del lago come differenza rispetto alla quota di 193 m s.l.m. (scala a destra), precipitazioni giornaliere (scala a sinistra) e densità della popolazione di *Anabaena lemmermannii* (scala a destra).

All'inizio di Luglio si verifica, peraltro, una forte pioggia, che, però potrebbe avere avuto un impatto negativo sulla crescita di *Anabaena*, portando al bacino grandi volumi

d'acqua che, modificando le condizioni di stabilità della colonna, possono avere inibito lo sviluppo della fioritura.

Al contrario, nell'estate 2007, non si è avuto nessun evento di magra nel Maggiore e, nonostante le piogge piuttosto intense del mese di Giugno, la crescita di *Anabaena* (Fig. 4.5.1.3c) è stata decisamente modesta.

I dati e le informazioni a nostra disposizione non ci permettono di risalire all'origine della comparsa di questa specie nel Maggiore: tuttavia, sembra abbastanza chiaro lo spettro di condizioni ambientali in cui essa può sviluppare una fioritura, vale a dire la contemporanea occorrenza di un livello del lago prossimo a 193 m s.l.m. e di un evento piovoso sufficientemente intenso da facilitare il trasporto a lago dei nutrienti, messi a disposizione dai processi di decomposizione avvenuti sulle sponde durante il periodo di magra. Un altro fattore favorevole è, probabilmente, la temperatura elevata, essendo noto che i cianobatteri formanti fioriture superficiali crescono bene in acque con temperatura superiore a 25 °C [32]. In questo contesto, un'indagine più accurata sul potenziale aumento del carico di nutrienti in periodo di magra ed uno studio dei fenomeni che interessano la fascia litorale e gli scambi con la zona pelagica, potrebbero fornire i dati necessari a confermare l'ipotesi descritta in precedenza.

È quindi evidente che disporre di informazioni precise e dettagliate sull'andamento giornaliero dei parametri di cui sopra permette, con le dovute cautele, di avanzare previsioni sull'insorgenza della fioritura di *Anabaena lemmermannii* e di predisporre, nei tempi opportuni, i piani di indagine per controllarne la dinamica, nonché le necessarie precauzioni per evitare possibili problemi di sanità pubblica.

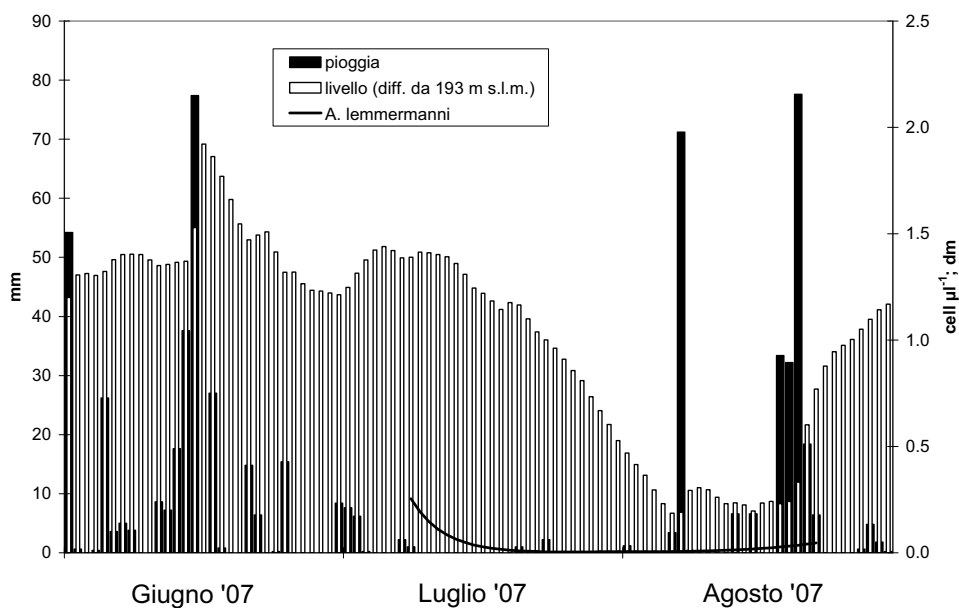


Fig. 4.5.1.3c. Estate 2007. Variazioni giornaliere del livello del lago come differenza rispetto alla quota di 193 m s.l.m. (scala a destra), precipitazioni giornaliere (scala a sinistra) e densità della popolazione di *Anabaena lemmermannii* (scala a destra).

4.5.1.4. Conclusioni

In conclusione, i dati raccolti nel quinquennio 2003-2007 hanno confermato le caratteristiche di fitoplancton oligotrofo emerse nel quinquennio precedente e come queste appaiano ormai consolidate: dunque, a questo punto dell'evoluzione trofica del Lago Maggiore, sembra difficile pensare ad un'inversione di tendenza.

In questa fase dell'evoluzione del Lago Maggiore, quindi, non sono più i fattori legati all'eutrofizzazione quelli che maggiormente controllano le dinamiche del fitoplancton, ma, piuttosto, sono diventati predominanti i fattori fisici, in particolare quelli influenzati dalla variabilità delle condizioni meteo-climatiche.

In questo contesto i mutamenti climatici globali e le loro ripercussioni sul clima locale, potrebbero giocare un ruolo chiave nel condizionare lo svolgimento delle successioni fitoplanctoniche negli anni a venire. È lecito quindi ipotizzare che, nel prossimo futuro, saranno soprattutto le variabili dell'ambiente fisico e, di conseguenza, i fattori meteo-climatici a svolgere un ruolo chiave di controllo sui tempi e sulle modalità dello sviluppo algale.

4.5.2. Zooplancton

L'analisi del complesso di dati sullo zooplancton pelagico ottenuti nell'ambito dell'attività di monitoraggio del Lago Maggiore condotta nel quinquennio 2003-2007 ha messo in luce come, accanto ad alcuni tratti che tendono a confermare il trend pluriennale, soprattutto relativamente alle importanti modificazioni osservate nella fenologia delle popolazioni zooplanctoniche [33-12], vi sia stata un'accresciuta variabilità interannuale, peraltro già evidenziata nella relazione relativa al quinquennio passato [10]. Tale variabilità può essere interpretata come l'espressione di una minore stabilità dovuta a una maggiore, o quanto meno ad una più evidente, influenza delle variabili meteo-climatiche sulla dinamica stagionale dello zooplancton lacustre [34].

In tale contesto, assume un significato importante il fatto che fin dall'avvio delle attività di monitoraggio del lago finanziate dalla CIP AIS sia stata prevista, accanto alla raccolta dei campioni zooplanctonici, la misura del profilo termico verticale entro lo strato campionato e della trasparenza delle acque. Pur essendo di facile rilevamento, queste due variabili ambientali sono di grande utilità: dalla temperatura ambientale dipendono i ritmi di sviluppo e di crescita delle popolazioni che compongono lo zooplancton, e dunque la loro produzione nel corso dell'anno. Differenze nella dinamica spazio-temporale della stratificazione termica possono servire a spiegare la dominanza di alcuni taxa rispetto ad altri [17]. In aggiunta a ciò, dalla temperatura dipende il passaggio dalla fase di dormienza a quella di vita attiva, e dunque l'avvio del ciclo stagionale nel pelago, di popolazioni di organismi zooplanctonici a partenogenesi ciclica, presenti nel Lago Maggiore. La trasparenza delle acque rappresenta un indicatore rapido ed efficace dell'efficienza del controllo della crescita algale da parte dello zooplancton [35]. Se significativamente correlata con le dimensioni medie delle covate di *Daphnia* e accompagnata da una stima del numero di uova/covata standardizzato sulla taglia corporea (SEN; [6]), essa può essere anche ritenuta una buona misura delle disponibilità alimentari, piuttosto difficili da stimare sulla base dei dati del popolamento fitoplanctonico. Analogamente, l'occorrenza di fasi di disaccoppiamento tra queste due variabili può essere ritenuta un indice di