

## Lo zooplancton del Lago Maggiore nel quinquennio 2003-2007: tendenze evolutive ed eccezioni alla luce dei cambiamenti globali\*

Marina Manca, Anna Visconti, Riccardo de Bernardi

CNR ISE Largo Tonolli 50 Verbania

\* Lavoro realizzato con il contributo della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere nell'ambito delle ricerche sugli aspetti limnologici del Lago Maggiore svolte a partire dal 1978. I risultati di tali ricerche sono stati pubblicati nei rapporti annuali e quinquennali editi dalla Commissione.

L'analisi del complesso di dati sullo zooplancton pelagico ottenuti nell'ambito dell'attività di monitoraggio del Lago Maggiore condotta nel quinquennio 2003-2007 dal CNR-ISE 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 (MANCA *et al.*, 2007d; MANCA *et al.*, 2008; VISCONTI *et al.*, 2008 a, b), vi sia stata un'accresciuta variabilità interannuale, peraltro già evidenziata nella relazione relativa al quinquennio precedente (MANCA, 2004). 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 (MANCA *et al.*, 2003).

In tale contesto, assume un significato importante il fatto che, fin dall'avvio delle attività di monitoraggio del lago finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere, 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 temperatu-

ra 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 (MANCA *et al.*, 1996). 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 (DE BERNARDI, 1974). 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: MANCA *et al.*, 2000), essa può essere anche ritenuta una buona misura delle disponibilità alimentari, altrimenti 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 deterioramento della qualità dell'alimento, o dell'importanza di fonti non fitoplanctoniche a sostegno della produ-

zione zooplanctonica (MANCA e RONDO, 2001).

L'insieme dei dati raccolti per il monitoraggio dello zooplancton pelagico rappresenta un patrimonio di grande valore per la comprensione degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi acquatici e delle vie attraverso le quali essi operano. Essi consentono di identificare anni fuori dalla norma, classificabili come eccezionali dal punto di vista meteo-climatico, e di farne oggetto di studio a posteriori, mediante l'utilizzo di un approccio quasi-sperimentale, nel quale il lago diviene una sorta di grande laboratorio naturale (EDMONDSON, 1993).

Tale approccio è stato utilizzato in uno studio di dettaglio sull'anno d'inizio del quinquennio 2003-2007. Risultato l'anno più caldo degli ultimi due secoli (MANCA e MARCHITELLI, 2004), esso è stato oggetto di una ricerca sull'impatto del riscaldamento climatico sullo zooplancton e la rete trofica pelagica lacustre.

La risposta delle comunità planctoniche all'impatto del riscaldamento globale è uno degli aspetti più interessanti nel panorama delle ricerche relative ai cambiamenti climatici. Di particolare interesse è l'ipotesi secondo la quale il riscaldamento determinerebbe effetti nel complesso simili a quelli dell'eutrofizzazione (SCHINDLER, 2001).

L'idea espressa da questa teoria non è poi così nuova: la letteratura scientifica ha evidenziato come le grandi modificazioni a carico delle comunità planctoniche nel corso della transizione dall'Ultimo Glaciale all'Olocene siano sostanzialmente sovrapponibili a quelle che si osservano oggi con l'aumento di trofia (RYVES *et al.*, 1996; MANCA *et al.*, 1996). Tale apparente sovrapposizione, comunemente accettata, è ancora poco supportata da dati sperimentali e offre un'occasione importante per l'avvio di studi miranti a mettere a fuoco, non solamente il quadro generale delle modificazioni osservabili in rapporto ai due processi, ma anche le vie attraverso le quali essi operano a livello di comunità e di ecosistema. Un aspetto interessante legato a tale ipotesi è che essa sposta l'attenzione delle ricerche sull'impatto del riscaldamento climatico dagli ecosistemi acquatici di siti remoti, verso i quali essa si era inizialmente indirizzata, a quelli di siti per i quali sia possibile operare un raffronto tra eutrofizzazione e riscaldamento globale. Tra le motivazioni che portarono a focalizzare inizialmente l'attenzione degli studiosi dei cambiamenti climatici sui siti remoti, e sugli ambienti d'alta quota in particolare, vi fu quella del loro essere "naturalmente oligotrofi o ultraoligotrofi", e dunque idonei ad evidenziare l'impatto di un riscaldamento non mascherato dagli effetti dominanti dell'eutro-

fizzazione. Tuttavia, tale presupposto fu basato più su una sorta di comune buon senso, che non sul risultato di evidenze sperimentali: ed è dalla sostanziale mancanza di dati in materia che è nata l'esigenza di avviare progetti aventi per obiettivo primario lo studio dell'impatto del riscaldamento in rapporto allo stato di trofia (progetto integrato EURO-LIMPACS, 2004-2009).

Ambienti sensibili alle modificazioni climatiche nei quali l'eutrofizzazione e l'oligotrofizzazione siano state documentate attraverso indagini pluriennali (DE BERNARDI *et al.*, 1990; MANCA e RUGGIU 1998; MANCA *et al.*, 2000) sono divenuti l'oggetto di ricerche volte a comprendere l'impatto del riscaldamento sullo zooplancton e sull'efficienza della rete trofica pelagica (MANCA *et al.*, 2007 a, b). Ambiente elettivo per studi di questo tipo è il Lago Maggiore: in questo lago l'impatto di eventi meteo-climatici può essere analizzato in situazioni di diversa trofia: per sua natura oligotrofo, il lago è andato incontro, negli anni settanta, ad una rapida accelerazione dell'eutrofizzazione, seguita da una più lenta ri-oligotrofizzazione, determinata dalla sostanziale riduzione del carico di nutrienti algali al lago, principalmente del fosforo. Oggetto di ricerche di limnologia fisica in un areale a monitoraggio meteo-climatico da oltre 50 anni (AMBROSETTI *et al.*, 2006), il Lago Maggiore è l'ambiente nel quale, per primo, l'impatto del ri-

scaldamento globale è stato documentato e discusso anche relativamente agli aspetti idrodinamici, di primaria importanza per le comunità planctoniche e la loro dinamica stagionale (AMBROSETTI e BARBANTI, 1999).

Sulla base delle informazioni ottenute anche attraverso il monitoraggio finanziato dalla Commissione, è stato possibile confrontare gli effetti del riscaldamento climatico durante la fase di mesotrofia e quella della recente oligotrofia del lago. In particolare, è stato possibile raffrontare l'anno 1982, relativamente caldo, con il 1983, temperato, del periodo mesotrofo e il 2001, anno temperato rispetto al 2003, caldo, del periodo oligotrofo (Tab. I).

A parte le differenze di temperatura, infatti, i due anni (caldo/temperato) sono in tutto simili, sia relativamente al pescato professionale, e dunque, paragonabili per l'impatto della predazione ittica, sia per la concentrazione del fosforo, elemento limitante per la crescita del fitoplancton. Il quadro delle variabili ambientali all'interno di ciascun periodo è tale da far ritenere trascurabile il ruolo dei due più importanti fattori biotici di controllo della dinamica stagionale dello zooplancton pelagico, e predominante quello puro e semplice della differenza nel riscaldamento. In figura 1 sono mostrati i grafici relativi al raffronto delle temperature medie e massime misurate nei 4 diversi anni. In particolare, in en-

**Tab. I.** Caratteristiche di base relative al confronto di due anni (caldo/temperato) durante due diversi fasi di trofia del lago (meso-eutrofia/oligotrofia). Da: VISCONTI *et al.*, 2008b, modificata.

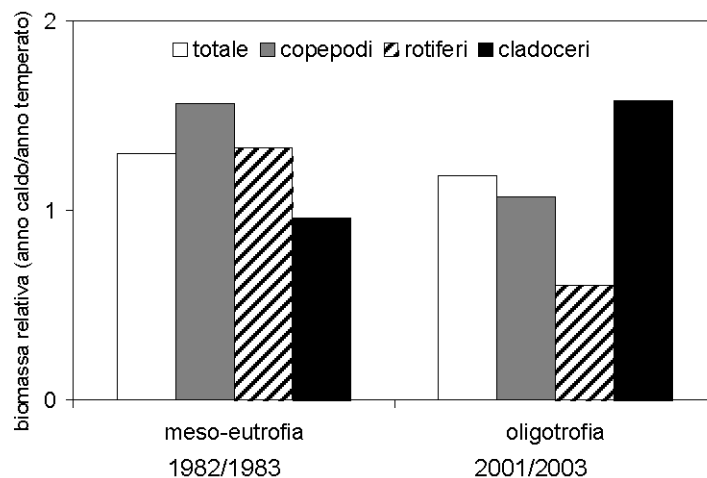
caratteristica anno	Durante la mesotrofia		Durante l'oligotrofia	
	caldo 1982	temperato 1983	caldo 2003	temperato 2001
Concentrazione di fosforo totale al mescolamento primaverile	22-23 µg/L		10-11 µg/L	
Totale del pescato pelagico (dati di pesca professionale)	650-680 ton/anno		200-220 ton/anno	

trambi i casi si è osservato negli anni relativamente "caldi" (1983 e 2003) un più precoce e pronunciato riscaldamento dello strato d'acqua importante per la vita dello zooplancton, quello compreso nei primi 50 metri di profondità. Nel 2003, la massima di giugno è risultata 5 °C più elevata di quella solitamente registrata in questo periodo dell'anno (VISCONTI *et al.*, 2007).

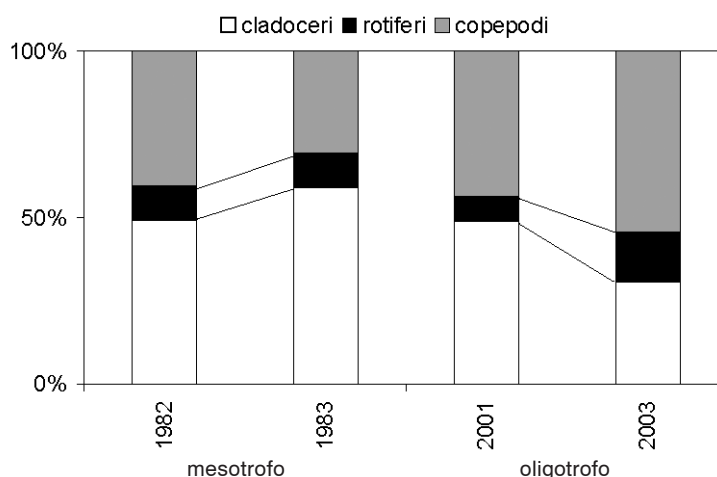
La conoscenza delle modificazioni nel popolamento zooplanctonico del Lago Maggiore durante l'eutrofizzazione e nella successiva fase di oligotrofizzazione ha permesso di registrare un quadro realistico dell'impatto del riscaldamento, in accordo con l'ipotesi che esso produca effetti simili a quelli di un aumento della produttività (VISCONTI *et al.*, 2008b). Tali modificazioni includevano, sostanzialmente:

- un incremento nella biomassa totale dello zooplancton (DE BERNARDI *et al.*, 1988 e 1990);
- un incremento nella presenza di cladoceri, e di *Daphnia* in particolare (MANCA e RUGGIU 1998);
- una diminuzione della presenza numerica dei rotiferi coloniali rispetto agli altri taxa a rotiferi (MANCA e SONVICO, 1996; MANCA *et al.*, 2000).

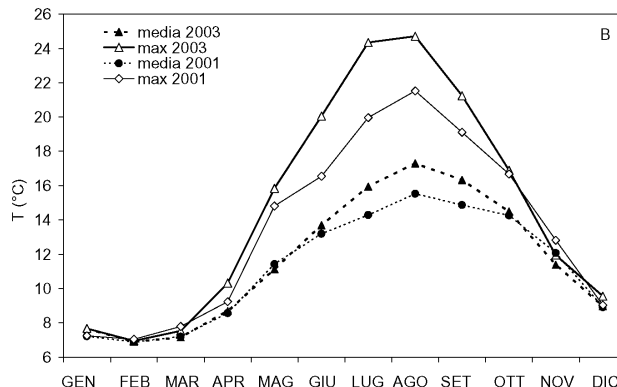
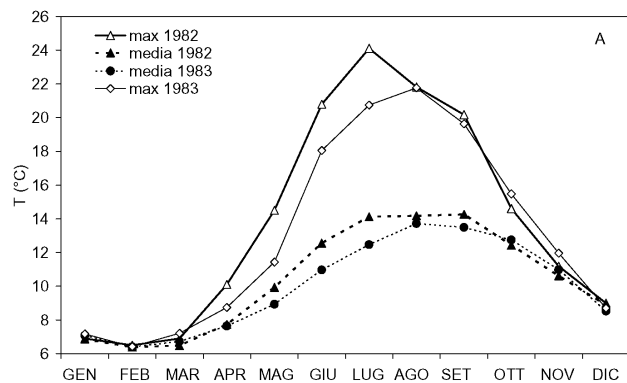
La biomassa zooplanctonica totale è risultata nettamente più elevata nel 2003 rispetto agli anni



**Fig. 2.** Analisi comparata delle modificazioni nella biomassa zooplanctonica in rapporto al riscaldamento climatico durante due diverse fasi dell'evoluzione trofica del lago (per i dettagli si veda la tabella I). Da: VISCONTI *et al.*, 2008b, modificata.



**Fig. 3.** Contributo dei diversi taxa alla densità di popolazione totale dello zooplancton in un anno caldo/temperato della fase di meso-eutrofia e di oligotrofia del lago. Da MANCA e MARCHITELLI, 2004, modificata.



**Fig. 1.** Temperature medie nello strato 0-50 m: confronto tra anno caldo/temperato: A) del periodo meso-eutrofo e B) del periodo oligotrofo recente (da VISCONTI *et al.*, 2008b, modificata).

pregressi (Fig. 2). Alla base di tale incremento è stata la maggiore importanza della componente a cladoceri, il cui contributo relativo è stato nel 2003 significativamente maggiore di quello misurato nell'anno 2001 (Fig. 3).

Alla base di tale incremento è stato l'aumento numerico di *Daphnia*, il più efficiente e il più grosso tra i cladoceri filtratori, la cui base alimentare nel pelago del Lago Maggiore è principalmente costituita dal fitoplancton. La sua presenza media è risultata più che doppia rispetto a quella degli anni precedenti e del tutto paragonabile a quella che venne registrata nel 1982, anno del periodo di piena mesotrofia del lago, nel quale *Daphnia* raggiunse il massimo storico in densità numerica (DE BERNARDI *et al.*, 1986; DE BERNARDI *et al.*, 1990) (Fig. 4). A determinare il valore di picco, rilevato nel Maggio 2003, è stata sostanzialmente la componente giovane della popolazione, favorita da accresciute disponibilità alimentari (MANCA e MARCHITELLI, 2004).

L'incremento nei valori di densità e biomassa dello zooplancton è risultato in accordo con quanto previsto dalla letteratura sugli effetti dell'aumento di temperatura sul tasso di crescita delle popolazioni (HALL e BURNS, 2002): ciclo vitale, tempi di sviluppo, velocità di crescita ed efficienza di utilizzo del cibo degli organismi componenti le popolazioni zooplanctoniche dipendono, infatti, dalla temperatura. È in virtù di tale influenza che si spiega il verificarsi, con il riscaldamento, di densità di popolazione tipicamente registrate in situazioni di aumentata trofia, in accordo con quanto ipotizzato da SCHINDLER (2001).

In contrapposizione con l'eccezionale sviluppo numerico di *Daphnia* si è osservato un ridimen-

sionamento notevole della componente a rotiferi, che nel 2003 ha mostrato valori di densità numerica dimezzati rispetto al 2001 (Fig. 5). Tale dimezzamento è stato quasi esclusivamente determinato dalla specie coloniale *Conochilus* gr. *unicornis-hippocrepis* (RUTTNER KOLISKO, 1974), competitore di *Daphnia* per le risorse alimentari. La densità numerica di questo rotifero era aumentata durante l'oligotro-

fizzazione, in concomitanza con il declino di *Daphnia* (MANCA e DE BERNARDI 1992 e 1993; MANCA *et al.*, 1996).

Gli effetti dello sviluppo numerico di *Daphnia* nel corso del 2003 risultano evidenti quando si analizzano i valori della trasparenza delle acque, riportati in figura 6, nei quali si osserva un aumento di 3,5 metri nell'arco di una settimana.

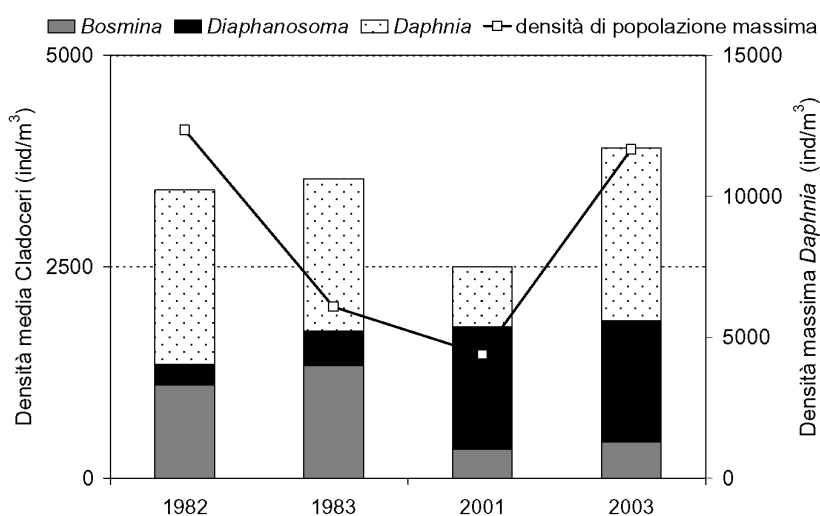


Fig. 4. Densità di popolazione media annuale dei principali taxa di Cladoceri erbivori e livello massimo raggiunto da *Daphnia* nei quattro anni presi in esame per lo studio dell'impatto del riscaldamento climatico durante la fase meso-eutrofa e oligotrofa del lago. Da: VISCONTI *et al.*, 2008b, modificata.

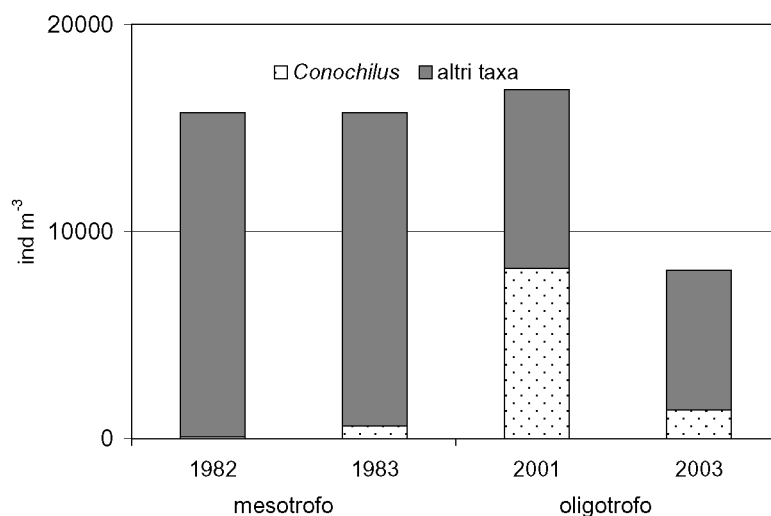


Fig. 5. Presenza numerica (media annuale) di colonie di *Conochilus* e degli altri taxa a rotiferi nei diversi anni considerati. Da: VISCONTI *et al.*, 2006, modificata.

I dati di densità di popolazione dei cladoceri erbivori nel quinquennio 2003-2007 confermano come l'eccezionalità del 2003 emerga anche dai dati ottenuti su base mensile: lo sviluppo numerico di *Daphnia* e di *Eubosmina* a maggio appare superiore al doppio di quello rilevato nei successivi quattro anni (Fig. 7). Dal grafico si evidenzia anche un' aumentata presenza di *Diaphanosoma brachyurum* in agosto, con tutta probabilità legata a una più spiccata stratificazione termica rispetto agli altri anni (MANCA *et al.*, 2006).

La peculiarità dell'anno 2003 risulta evidente anche ad un'analisi della densità di popolazione e della dinamica stagionale del popolamento a rotiferi (Fig. 8). La presenza numerica di questi organismi è risultata infatti piuttosto modesta nel suo complesso. Tra i diversi taxa presenti nel quinquennio, un significato importante rivestono *Notholca acuminata-labis*, specie cui è in larga misura legato l'eccezionale sviluppo numerico della primavera del 2006 (MANCA *et al.*, 2007b), e *Conochilus gr. unicornis-hippocrepis*, quest'ultimo caratterizzato da una più prolungata fase di sviluppo entro il ciclo stagionale. I livelli di densità di popolazione raggiunti in quest'anno sono dell'ordine di quelli osservati nel 1993-1995 (MANCA *et al.*, 1996). Tuttavia, diversa è la stagionalità: in quegli anni la dominanza di *Notholca* caratterizzava il periodo estivo, mentre il popolamento primaverile era rappresentato dalle due specie di *Keratella* (*K. quadrata* e *K. cochlearis*). Queste ultime sono ormai divenute numericamente poco rilevanti nel popolamento a Rotiferi del lago.

Nell'arco dei trent'anni di monitoraggio dello zooplancton del lago, la componente a Copepodi è stata caratterizzata dalla medesi-

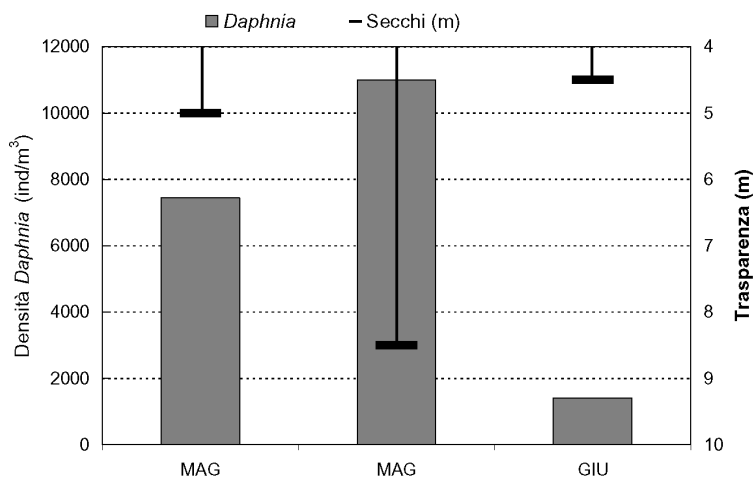


Fig. 6. Aumento della trasparenza osservato durante il picco numerico di *Daphnia* nell'anno 2003. Da: VISCONTI *et al.*, 2006, modificata.

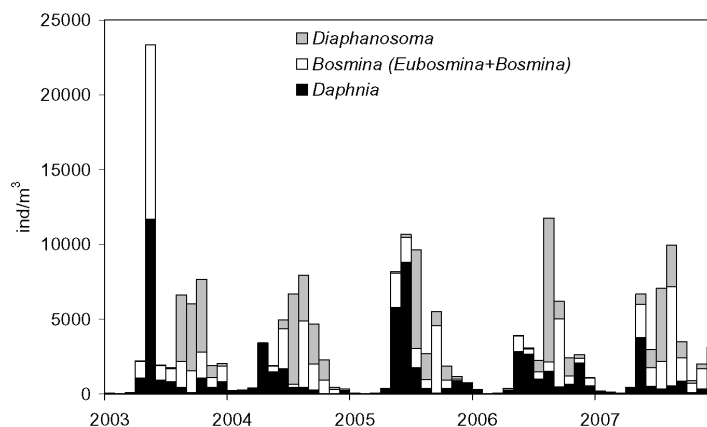


Fig. 7. Dinamica stagionale dei cladoceri zooplanctonici erbivori nel quinquennio 2003-2007.

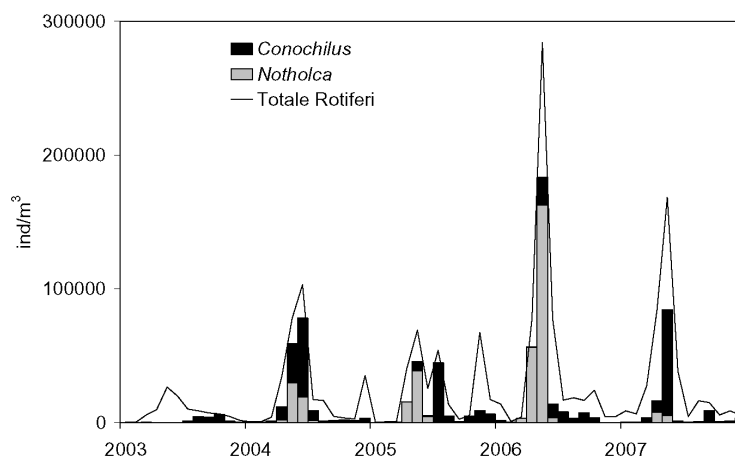


Fig. 8. Dinamica stagionale dei rotiferi zooplanctonici nel quinquennio 2003-2007.

ma associazione di specie, due Diaptomidi - *Mixodiaptomus laciniatus*, a taglia maggiore e *Eudiaptomus padanus*, a taglia minore- e due Ciclopidi, *Cyclops abyssorum*, più grosso e *Mesocyclops leuckarti* più piccolo. La specie di taglia massima, *Megacyclops viridis*, ha avuto un ruolo nettamente marginale nello strato 0-50 m usualmente campionato. È quindi evidente come in un ambiente di questo tipo, la comparsa di *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars, 1863) nei campioni pelagici dell'ottobre 2006 sia stata oggetto di particolare attenzione (MANCA *et al.*, 2007c) (fig. 9). A differenza di quanto descritto in altri laghi, la taglia degli adulti di questa specie nel Lago Maggiore è quella tipica di ambienti oligotrofi (KIEFER, 1968), dunque pienamente sovrapponibile a quella caratteristica di *Mixodiaptomus laciniatus*. *Eudiaptomus padanus*, la specie ad essa filogeneticamente più affine, presenta allo stadio adulto una taglia nettamente inferiore (Fig. 10A; MANCA *et al.*, 2007). Essendo le dimensioni delle covate anche legate alla taglia corporea delle femmine, non stupisce che esse siano risultate minori in quest'ultima (Fig. 10B). La conside-

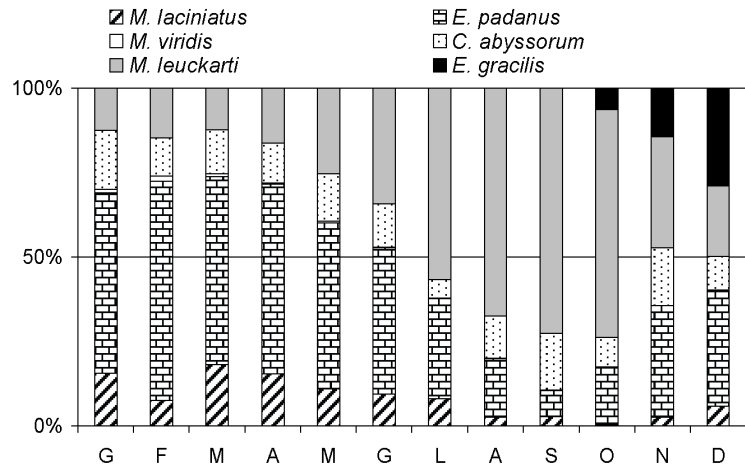


Fig. 9. Comparsa e affermazione numerica di *Eudiaptomus gracilis* nel pelago del Lago Maggiore nel corso dell'anno 2006. Da: MANCA *et al.*, 2007b, modificata.

razione dell'importanza delle dimensioni quale fattore importante di regolazione dei rapporti biotici può essere di utilità anche per comprendere l'impatto della comparsa di *E. gracilis* sulla comunità a copepodi del pelago. A questo riguardo, il Lago Maggiore offre un'occasione per saggiare le ipotesi sul ruolo dei rapporti dimensionali rispetto a quelli filogenetici nella competizione tra specie affini (RICCIARDI e MOTTIAR, 2006).

Ancorché non prevista dal programma di monitoraggio, la pre-

senza di epibionti e parassiti è stata oggetto di attenzione anche per il quinquennio 2003-2007, in considerazione del fatto che livello, intensità e prevalenza sono aumentate rispetto al passato (MANCA *et al.*, 1995). La loro incidenza è tale da permettere di spiegare il declino di alcune specie di copepodi nell'arco dell'anno (MANCA *et al.*, 2004a; MANCA *et al.*, 2004b).

In sintesi, i dati relativi al quinquennio consentono di mettere in luce l'importanza degli studi sullo zooplankton anche in rela-

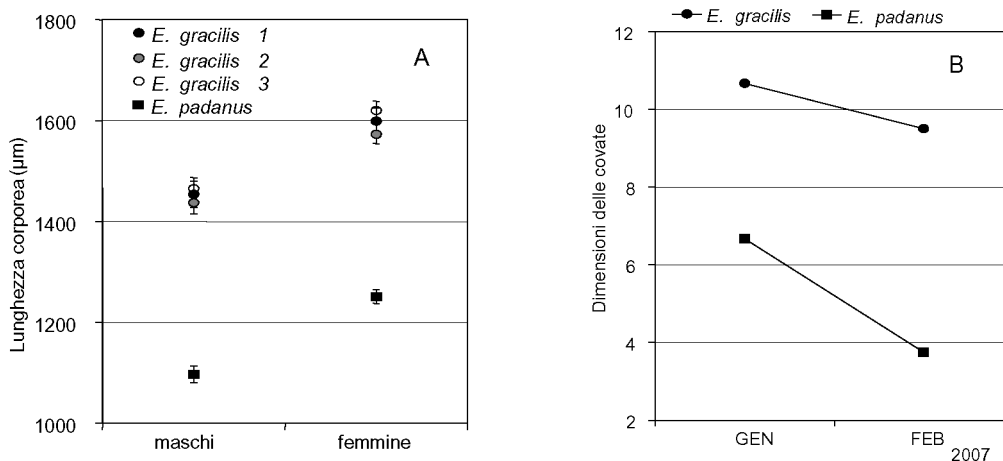


Fig. 10. Comparazione tra *E. padanus*, *E. gracilis* e *M. laciniatus* del Lago Maggiore; A: lunghezza corporea media ( $\pm 1,96$  SE) degli adulti nel periodo ottobre-dicembre 2006 (i numeri si riferiscono a tre stazioni, dal litorale al pelago). B: dimensioni medie delle covate in femmine provenienti da acque pelagiche (non rinvenute in *M. laciniatus* nel periodo campionato). Da: MANCA *et al.*, 2007c, modificata.

zione all'impatto dei mutamenti climatici e delle vie attraverso le quali essi operano negli ambienti acquatici. Lo zooplancton rappresenta un fondamentale anello di congiunzione tra i produttori primari e i pesci. Comprendendo erbivori e predatori, consente di ottenere una visione degli effetti diretti e indiretti su due diversi livelli trofici, quello dei consumatori primari e quello dei secondari. A costituirlo contribuiscono organismi con dimensioni corporee piuttosto diverse, comprese tra circa il ventesimo di millimetro dei rotiferi più piccoli e il centimetro dei cladoceri predatori. Tale spettro dimensionale consente di analizzare gli effetti dei mutamenti ambientali su scale temporali diverse, poiché i tempi di sviluppo e quelli di reazione e di resistenza alle modificazioni ambientali sono inversamente proporzionali alla taglia corporea. Per queste e altre ragioni, lo studio della dinamica stagionale dello zooplancton rappresenta un elemento essenziale per l'analisi degli effetti dei mutamenti in corso e per la comprensione dei meccanismi attraverso i quali essi operano a livello ecosistemico.

I dati di base dimostrano che nell'epoca attuale le temperature sono in aumento. Indicazioni in tal senso sono emerse da studi a lungo termine relativi alla termica lacustre. Non solamente la temperatura media annuale è andata progressivamente aumentando, ma anche profondità e durata della stratificazione termica si sono modificate, con un'anticipata e una più estesa fase di riscaldamento delle acque. Entrambi questi mutamenti sono molto importanti per lo zooplancton. Essi possono agire sia direttamente, promuovendo un più veloce metabolismo a livello d'individui, popolazioni e comunità, sia indirettamente, attraverso i fattori

legati alla dinamica spazio-temporale della stratificazione termica. L'instaurarsi di quest'ultima si traduce, per lo zooplancton di laghi profondi di zone temperate, dei quali il Lago Maggiore è un esempio, nella transizione da un ambiente nel quale il cibo è diluito, a uno nel quale esso diviene più concentrato e ricco, tale da favorire l'iniziale incremento nella fecondità che sottende al successivo sviluppo numerico delle sue popolazioni.

Sia gli effetti indiretti che quelli diretti del riscaldamento climatico sono per certi aspetti paragonabili a quelli conseguenti all'eutrofizzazione; fra gli altri, s'ipotizzano un aumento della biomassa, una diminuzione della biodiversità e della taglia media. Tuttavia, sebbene su base annuale le risposte possano a prima vista sembrare sovrapponibili a quelle viste con l'eutrofizzazione, e dunque in qualche misura prevedibili sulla base dei risultati ottenuti dalle ricerche relative a tale fenomeno, esse se ne discostano in termini di dinamica stagionale: specie che in passato risultavano presenti per periodi molto brevi possono infatti divenire parte integrante del popolamento zooplanctonico per un periodo anche lungo dell'anno, anche in seguito a modificazioni importanti nelle strategie riproduttive. Organismi che erano soliti andare in dormienza durante il periodo freddo possono perdurare in lago per tutto l'arco dell'anno. Al contrario, specie che non avevano mai prodotto stadi duraturi possono iniziare a farlo, in conseguenza del deteriorarsi della qualità dell'alimento e/o di una incrementata pressione di predazione. Tali risposte al mutamento nelle condizioni dell'ambiente sono in larga misura ancora inesplorate, nonostante le conoscenze maturate in anni e anni di sperimentazione di

laboratorio sugli effetti della temperatura sullo sviluppo e la crescita di organismi zooplanctonici. In laghi per i quali si disponga di dati sulle modificazioni nella temperatura e nel regime di stratificazione termica è quanto mai importante riuscire a tradurre tali informazioni in un dato che sia utilizzabile dal punto di vista biologico: tale operazione consente di chiarire i meccanismi attraverso i quali i cambiamenti climatici, ed in particolare il riscaldamento, agiscono a livello di comunità e di ecosistema.

In mancanza di queste informazioni non è di fatto possibile prevedere i nuovi scenari derivanti dalle modificazioni climatiche. Sulla base delle conoscenze attuali sul funzionamento degli ecosistemi è legittimo ipotizzare che l'importanza degli effetti diretti del riscaldamento sulle biocenosi sia di gran lunga inferiore a quello degli effetti indiretti, mediati dai rapporti trofici, ad esso conseguenti. Tuttavia, mancano dati a supporto di tale ipotesi, anche in quanto sono pochi i casi nei quali siano disponibili dati a lungo termine sulle caratteristiche fisiche e biologiche dei laghi.

L'attività di monitoraggio dello zooplancton portata avanti per trent'anni in virtù del finanziamento da parte della Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere fa sì che il Lago Maggiore possa rappresentare un caso di studio importante nel panorama delle ricerche internazionali.

Nel quinquennio 2003-2007, accanto ad elementi che confermano il trend pluriennale dell'evoluzione recente del lago, quali il più precoce sviluppo di alcune specie di cladoceri, ve ne sono altri a sostegno dell'esistenza di una forte intervaiabilità interan-

nuale, che rende abbastanza difficile allo stato attuale prevedere la dinamica stagionale e l'entità dello sviluppo numerico delle po-

polazioni componenti il popolamento zooplanctonico del lago. Questo largo margine d'incertezza potrebbe essere interpretato

come il segnale di un'accresciuta vulnerabilità dello zooplancton lacustre alle variabili meteo-climatiche.

## Bibliografia

- AMBROSETTI W., BARBANTI L., 1999. Deep water warming in lakes: An indicator of climatic change. *Journal of Limnology*, **58**(1): 1-9.
- AMBROSETTI W., BARBANTI L., ROLLA A., 2006. The climate of Lago Maggiore area during the last fifty years. *Journal of limnology*, **65**, Suppl. 1: 1-62.
- DE BERNARDI R., 1974. The dynamics of a population of *Daphnia hyalina* Leydig in Lago Maggiore, Northern Italy. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **31**: 221-243.
- DE BERNARDI R., GIUSSANI G., IMRO M.A., MANCA M., 1986. Dinamica di popolazione dei principali crostacei planctonici del Lago Maggiore dal 1978 al 1985. *Atti del VII Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*: 47-59.
- DE BERNARDI R., GIUSSANI G., MANCA M., RUGGIU D., 1988. Long-term dynamics of plankton communities in Lago Maggiore (Northern Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **23**: 729-733.
- DE BERNARDI R., GIUSSANI G., MANCA M., RUGGIU D., 1990. Trophic status and the pelagic system in Lago Maggiore. *Hydrobiologia*, **191**: 1-8.
- EDMONDSON W.T., 1993. Experiments and quasi-experiments in limnology. *Bulletin of Marine Science*, **53**(1): 65-83.
- EURO-LIMPACS, 2004-2009. *Integrated project to evaluate the impacts of global change on European freshwater ecosystems*. Project no. GOCE-CT-2003-505540: 80PP.
- HALL C.J., BURNS C.W., 2002. Mortality and growth responses of *Daphnia carinata* to increases in temperature and salinity. *Freshwater Biology*, **47**: 451-458.
- KIEFER F., 1968. Versuch einer revision der gattung *Eudiaptomus* Kiefer (Copepoda Calanoida). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **24**: 160 pp.
- MANCA M., DE BERNARDI R., 1992. Indagini sull'ambiente pelagico. Plancton. Indagini sullo zooplancton. In: C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1988-1992. (Campagna 1991)*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 49.
- MANCA M., DE BERNARDI R., 1993. Indagini sull'ambiente pelagico. Plancton. Indagini sullo zooplancton. In: C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Campagna 1992 e Rapporto quinquennale 1988-1992*. Ed. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere: 68-78.
- MANCA M., BELTRAMI M., SONVICO D., 1995. On the appearance of epibionts on the crustacean zooplankton of a large subalpine lake undergoing oligotrophication (L. Maggiore, N. Italy). *Mem. Ist. ital. idrobiol.*, **54**: 161-172.
- MANCA M., SONVICO D., 1996. Seasonal variations in population density and size structure of *Conochilus* in Lago Maggiore: a biannual study. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **54**: 97-108.
- MANCA M., CANALE M.C., BELTRAMI M., DE BERNARDI R., 1996. Indagini sullo zooplancton. In: Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (ed.), *Ist. ital. Idrobiol. C.N.R. Ricerche sull'evoluzione del lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1993-1997 (Campagna 1995 con sintesi degli anni 1993 e 1994)*: 59-68.
- MANCA M., RUGGIU D., 1998. Consequences of pelagic food web changes during a long-term lake oligotrophication process. *Limnol. Oceanogr.*, **43**: 1368-1373.
- MANCA M., RAMONI C., COMOLI P., 2000. The decline of *Daphnia hyalina galeata* in Lago Maggiore: a comparison of the population dynamics before and after oligotrophication. *Aquat. Sci.* **62**: 142-153.
- MANCA M., RONDO R., 2001. Indagini sullo zooplancton. In: *Ist. Ital. Idrobiol. - C.N.R. 2001. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2000*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 57-59.
- MANCA M., COMOLI P., MORABITO G., 2003. The Response Of Pelagic Zooplankton To Oligotrophication and Climate-driven Events in Lago Maggiore (Italy). *3rd Symposium for European Freshwater Sciences (SEFS3)*, 13 - 18 July 2003, University of Edinburgh, Scotland, UK.
- MANCA M., COMOLI P., CARNOVALE A., 2004a. Indagini sullo zooplancton. C.N.R.-I.S.E. Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2002*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 98-102.
- Manca M., Carnovale A., Alemani P., 2004b. Exotopic protrusions and ellobiopsid infection in zooplanktonic copepods of a large, deep subalpine lake, Lago Maggiore, in Northern Italy. *Journal and Plankton Research*, **26**: 1-8.



- MANCA M., MARCHITELLI A., 2004. Indagini sullo zooplancton. Dinamica stagionale. In: *Ist. Ital. Idrobiol. - C.N.R. 2003. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Campagna 2003. Commissione internazionale per la protezione delle acque italo - svizzere* (Ed.): 61-67.
- MANCA M., 2004. Considerazioni generali sull'evoluzione a lungo termine dei popolamenti planctonici. Zooplancton. In: C.N.R.-I.S.E. Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 134-136.
- MANCA M., VISCONTI A., PISCIA R., DE BERNARDI R., 2006. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico. In: C.N.R.- I.S.E. Sede di Verbania. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2005. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 60-63.
- MANCA M., VISCONTI A., DE BERNARDI R., 2007a. Impatto del riscaldamento globale sullo zooplancton e sull'efficienza della catena trofica pelagica. In: "Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR". 621-624.
- MANCA M., VISCONTI A., DE BERNARDI R., 2007b. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico. In: C.N.R.- I.S.E. Sede di Verbania. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 45-50.
- MANCA M., VISCONTI A., DE BERNARDI R., 2007c. On the appearance of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863), allochthonous copepod species, in Lake Maggiore zooplankton. Poster presentato al 30<sup>mo</sup> Congresso SIL, Montreal, Quebec, Canada, 12-18 Agosto 2007.
- MANCA M., PORTOGALLO M., BROWN M.E., 2007d. Shifts in phenology of *Bythotrephes longimanus* and its modern success in Lake Maggiore as a result of changes in climate and trophy. *Journal of Plankton Research*, **29** (6): 515-525.
- MANCA M., VISCONTI A., DE BERNARDI R., 2008. Riscaldamento globale: exergia, trofodinamica e zooplancton. *Biologia Ambientale*, **22** (1): 37-40.
- RICCIARDI A., MOTTIAR M., 2006. Does Darwin's naturalization hypothesis explain fish invasions? *Biological Invasions* **8**: 1403-1407.
- RUTTNER KOLISKO A., 1974. *Plankton Rotifers. Biology and taxonomy*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 146 pp.
- RYVES D.B., JONMES V.J., GUILIZZONI P., LAMI A., MARCHETTO A., BATTARBEE R.W., BETTINETTI R., DEVOY E.C., 1996. Late Pleistocene and Holocene environmental changes at Lake Albano and Lake Nemi (central Italy) as indicated by algal remains. In: Guilizzoni P., Oldfield F. (Eds), 1996. Paleoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments (PALICLAS). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **55**: 119-148.
- SCHINDLER D.W., 2001. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**: 18-29.
- VISCONTI A., MARCHITELLI A., MANCA M., 2006. Implicazioni dell'aumento della temperatura sullo zooplancton del Lago Maggiore: l'aumento della temperatura mima l'eutrofizzazione? *Atti del XVI Congresso SitE*: 1-6.
- VISCONTI A., MANCA M., DE BERNARDI R., 2007. Eutrophication-like effects of climate warming: an analysis of Lake Maggiore zooplankton during an exceptionally warm year. 30mo Congresso SIL, Montreal, Quebec, Canada, 12-18 Agosto 2007.
- VISCONTI A., MANCA M., DE BERNARDI R., 2008a. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico. In: C.N.R.- I.S.E. Sede di Verbania. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2007*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): in stampa.
- VISCONTI A., MANCA M., DE BERNARDI R., 2008b. Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lake Maggiore zooplankton during contrasting years. *J. Limnol.*, **67** (2): 87-92.