

Indagini sulla rete trofica pelagica del Lago Maggiore mediante analisi d'isotopi stabili di carbonio e azoto (SIA): risultati della campagna 2009[§]

Amedeo Fadda, Anna Visconti, Benedetta Ponti, Marina Manca*

CNR ISE, Largo Tonolli, 50 - 28922 Verbania (VB)

* Referente per la corrispondenza: m.manca@ise.cnr.it

§ 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, Campagna 2009. Funded by the International Commission for the Protection of Swiss-Italian Waters on Lake Maggiore.

Riassunto

Gli studi sulla rete trofica pelagica del Lago Maggiore mediante SIA sono stati estesi nel 2009 a cladoceri di piccola taglia e a organismi litorali. La spiccata stagionalità di *Daphnia* riflette quella della linea di base del pelago, e da essa sembra dipendere la maggior parte degli zooplanctonti analizzati. L'analisi del *fingerprint* isotopico ha permesso di evidenziare come *Diaphanosoma* sia vicariante di *Daphnia* nel periodo autunnale. In primavera-estate *Leptodora* e *Eudiaptomus* sembrano svolgere un ruolo trofico confrontabile. *Bythotrephes* e i ciclopidi sembrano avere a maggio e novembre un ruolo paragonabile a quello dell'agone. In generale, non solamente *Rutilus*, ma anche *Alosa* e *Coregonus* sembrano dipendere in misura non trascurabile da fonti non pelagiche di alimento. Nell'insieme, i risultati ottenuti offrono un elemento importante verso la definizione di quella *operational diversity* che è alla base di una gestione sostenibile dell'ambiente.

PAROLE CHIAVE: laghi / reti alimentari pelagiche / fingerprint isotopico / zooplancton / pesci

Pelagic food web of Lake Maggiore: results of SIA in 2009

During 2009, studies on Lake Maggiore pelagic food web were extended to small sized cladocerans and to littoral organisms. We were able to reconstruct seasonal changes in isotopic fingerprint and in the trophic relations of pelagic organisms. We found that *Daphnia* seasonality, related to changes the signature of the food, was also reflected by other organisms, thus suggesting a main dependence from pelagic carbon sources to different taxa. During winter, *Diaphanosoma* replaced *Daphnia* in its trophic role, while during spring and summer *Eudiaptomus* appeared to play the same role as *Leptodora*. Along the year, the signatures of littoral and pelagic food chains changed, overlapping during summer to be clearly separated in spring and autumn. *Bythotrephes* and the cyclopoids seemed vicariate of zooplanktivorous fish, particularly *Alosa*, in November. Not only *Rutilus*, but also *Alosa* and *Coregonus* relied from littoral food sources more than expected. Overall, the study gave a contribution for a characterization of *operational diversity*, which represents the basis for a sustainable environmental management.

KEY WORDS: lakes / pelagic food web / isotopic fingerprint / zooplankton / fish

Nel 2009 le indagini relative alla caratterizzazione della rete trofica pelagica del Lago Maggiore mediante analisi d'isotopi stabili di carbonio e azoto sono proseguite con due scopi principali: 1) estendere le analisi anche agli organismi zooplanctonici di piccola taglia e basso peso individuale, quali *Bosmina* e *Diaphanosoma*, per i quali è necessario un elevato numero d'individui; 2) dare una prima ca-

ratterizzazione dei segnali isotopici di organismi di zone litorali e prossime ai corsi d'acqua.

In diversi momenti dell'anno sono stati realizzati campionamenti di materiale zooplanctonico in zona pelagica, con una frequenza maggiore rispetto a quella stagionale prevista, tale da permettere la raccolta, oltre che degli organismi consueti, anche dei cladoceri di piccole dimensioni che, essendo sog-

getti ad improvvise e poco durature fasi di sviluppo numerico, possono sfuggire ad un campionamento su base stagionale. Detti campionamenti sono stati affiancati da raccolte di organismi in diverse zone del litorale lacustre.

Il materiale zooplanctonico è stato raccolto nelle tre diverse stazioni a suo tempo prescelte come tendenzialmente rappresentative di diverse situazioni: la stazione ubi-

cata al largo di Ghiffa (latitudine 45°57'30"N; longitudine 8°39'09"E), sito elettivo per il monitoraggio del pelago lacustre; quella denominata "Baveno" (latitudine 45°54'28"N; longitudine 8°31'44"E), per la quale studi pregressi indicavano l'influenza del trasporto di materiale alloctono ad opera del Fiume Toce; e quella di Lesa (latitudine 45°49'70"N; longitudine 8°34'70"E), ove maggiore è l'influenza del litorale. In aggiunta a queste, raccolte di altri organismi (perifiton, larve di ditteri chironomidi, oligocheti e anfipodi) sono state effettuate a marzo e a giugno in diverse zone del litorale lungo l'asse principale del lago e in prossimità della foce del Fiume Toce.

Ad ogni data di campionamento, organismi appartenenti ai diversi taxa zooplanctonici sono stati raccolti in quantità sufficienti a consentire analisi del segnale isotopico (MANCA *et al.*, 1994; 1997). Onde ottenere campioni adatti a garantire risultati attendibili delle analisi strumentali è stato necessario prelevare, di volta in volta, e per ogni replica, un numero d'individui compreso tra un minimo di 40 e un massimo di 500, in dipendenza dalla taglia individuale.

Nel contempo, campioni quantitativi prelevati con le usuali metodiche sono serviti a determinare la densità di popolazione e la biomassa zooplanctonica nei differenti momenti stagionali e nelle tre stazioni. Sono state inoltre misurate la temperatura dello strato d'acqua campionato mediante termometro termistore e la trasparenza delle acque mediante Disco di Secchi.

Nel 2009 è stato inoltre completato il quadro relativo alla caratterizzazione del *fingerprint* isotopico, e delle sue modificazioni nel corso dell'anno, delle tre diverse specie di pesci previste dal progetto: agone (*Alosa fallax lacustris*), core-

gone (*Coregonus lavaretus*) e gardon (*Rutilus rutilus*), campionati nel 2008, catturati mensilmente con reti branchiali in zona pelagica (coregone e agone) e litorale (gardon) nella regione centrale del Lago Maggiore. Campioni di muscolo dorsale sono stati ottenuti da cinque individui per specie. Dei singoli pesci è stata misurata la taglia (lunghezza totale e peso totale) e determinata l'età mediante lettura delle scaglie, al fine di ottenere campioni il più possibile omogenei per taglia ed età, sì da limitare la variabilità legata a possibili differenti abitudini alimentari. In totale sono stati analizzati circa 1500 campioni di organismi zooplanctonici, 300 di pesci e un centinaio di organismi di zone litorali.

Tutti i campioni sono stati essiccati, polverizzati e pesati al fine di ottenere un peso idoneo a garantire il livello di precisione richiesto dalle analisi isotopiche (0,7-1 mg). I campioni, posti in capsulini di stagno, sono stati caricati in analizzatore elementare (Vario EL III) interfacciato con uno spettrometro di massa per il calcolo del rapporto isotopico (G. G. Hatch Isotope Laboratories, University of Ottawa, Faculty of Science, Ottawa, Canada). I campioni e gli standard sono stati combusti a circa 1800 °C (combustione di Dumas) e i prodotti gassosi risultanti trasportati in elio attraverso colonne di ossido-riduzione ottimizzate per CO₂ e N₂. I gas, separati mediante colonne di assorbimento a purificazione e cattura, venivano inviati all'interfaccia (Conflo II) e all'IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometer della Delta XP Plus Advantage). La precisione analitica delle analisi era basata su uno standard interno (C-55, acido glutamico, δ¹⁵N, δ¹³C = 3,98, -28,53, rispettivamente) solitamente con precisione analitica inferiore allo 0,2 ‰.

I valori di δ¹⁵N sono stati riferiti all'azoto atmosferico e normalizzati con standard calibrati all'International standard IAEA-N1(+0,4 ‰), IAEA-N2(+20,3 ‰), USGS-40(-4,52 ‰) e USGS-41(47,57 ‰). I valori di δ¹³C, riferiti alla PDB (Belemnite di Pee Dee) sono stati normalizzati con standard interni calibrati presso l'International standard IAEA-CH-6(-10,4 ‰), NBS-22(-29,91 ‰), USGS-40(-26,24 ‰) e USGS-41(37,76 ‰). La deviazione standard dei valori relativi ai campioni di invertebrati, perifiton e pesci è risultata compresa tra 0,05-0,06 e 0,12 per ¹³C e ¹⁵N, rispettivamente.

Nel pelago del Lago Maggiore, indipendentemente dalla stazione di campionamento, il *fingerprint* isotopico di *Daphnia* è risultato correlato a un elevato livello di significatività statistica con quello del materiale sestonico (<76 μm) che ne costituisce la base alimentare (MANCA *et al.*, 2009). Pertanto, *Daphnia* rappresenta un buon integratore della linea di base pelagica e delle sue variazioni nel corso dell'anno. Sono quindi state investigate le relazioni tra i taxa e la linea di base rappresentata da *Daphnia*, e i valori delle prime sono stati comparati con quelli previsti per il frazionamento trofico di ¹³C e ¹⁵N. Un *taxon* è stato considerato supportato dalla linea di base pelagica quando il suo δ¹³C differiva meno di 1-2 volte rispetto a quello misurato per *Daphnia*. Qualora esso fosse differente, si è ipotizzato l'utilizzo di fonti multiple di alimentazione da parte della comunità zooplanctonica. In particolare, il segnale di organismi provenienti da zone diverse da quella pelagica, prelevati in diversi punti del litorale lacustre, sono serviti a identificare l'importanza di fonti non pelagiche di supporto alla produzione secondaria. Anche la posizione trofica relativa

dei diversi *taxa*, e le sue variazioni nel corso dell'anno, sono state riferite a *Daphnia*. Perché la posizione trofica possa essere ritenuta costante, l'arricchimento rispetto a *Daphnia* deve mantenersi costante nel corso dell'anno.

I risultati delle analisi relative al segnale isotopico del carbonio nei diversi mesi dell'anno e per le diverse componenti prese in esame sono riassunti nel grafico in figura 1. La scala del $\delta^{13}\text{C}$ comprende valori rappresentativi dell'ambiente litorale (meno negativi) e di quello pelagico di laghi profondi, quali il Maggiore. Generalmente, organismi di acque più profonde presentano valori del $\delta^{13}\text{C}$ più negativi rispetto a quelli di acque più superficiali. Il grafico può dunque essere letto, dall'alto verso il basso, come una graduale transizione da zone più prossime alla superficie a zone più profonde del lago.

La linea di base del segnale isotopico del C presenta una spiccata stagionalità, con una fase di aumento graduale fino al raggiungimento del valore massimo in agosto e un successivo, più lento, declino in autunno. Questo andamento ricalca fedelmente l'aumento delle temperature medie nella colonna d'acqua campionata (i primi 50

metri) con il procedere della stagione calda, e questo fa sì che le due variabili, il $\delta^{13}\text{C}$ della linea di base e la temperatura, siano fra loro correlate a un alto livello di significatività statistica (MANCA *et al.*, 2009). Tale correlazione rispecchia l'aumento del valore di $\delta^{13}\text{C}$ del fitoplancton durante la stratificazione termica (ZOHARY *et al.*, 1994), conseguente ad un maggiore frazionamento del $\delta^{13}\text{C}$ del fitoplancton, dovuto al graduale esaurimento della CO_2 disciolta in epilimnio, con l'incremento dei produttori primari. In autunno e in inverno, la diminuzione del segnale isotopico del carbonio è il risultato della graduale de-stratificazione che porta ad un rinnovato apporto del carbonio inorganico disciolto dall'ipolimnio, culminante nel minimo stagionale, solitamente osservato durante il mescolamento invernale (ZOHARY *et al.*, 1994). La buona correlazione tra il segnale isotopico di *Daphnia* e la temperatura può essere ritenuta come l'indicazione di una prevalente dipendenza di questo cladocero da fonti alimentari fitoplanctoniche. Al contrario, in situazioni nelle quali tale correlazione sia più debole, s'ipotizza un ruolo non trascurabile di fonti non fitoplanctoniche di materia ed ener-

gia per lo sviluppo e la crescita nel corso dell'anno della popolazione.

La dipendenza dalla linea di base pelagica è abbastanza evidente per la maggior parte dei *taxa* zooplanctonici analizzati nella maggior parte dell'anno. La sovrapposizione è particolarmente evidente a giugno, luglio ed ottobre per tutti i *taxa* ad eccezione dei ciclopidi. Questi ultimi, inizialmente molto prossimi a *Daphnia* nel segnale isotopico, se ne differenziano in modo significativo durante la maggior parte dell'anno, durante la quale si registrano valori nettamente più negativi rispetto a quelli misurati per gli altri componenti dello zooplancton pelagico. I valori più negativi dei ciclopidi rispetto a quelli misurati in *Daphnia* (valore medio di $\delta^{13}\text{C}$ inferiore del 6 ‰ in ottobre) potrebbero essere anche legittimati da una loro dipendenza dal segnale isotopico di acque più profonde rispetto a quelle rappresentate da *Daphnia*. Le misure su *Dreissena polymorpha*, il mollusco bivalve solitamente utilizzato come integratore conservativo della linea di base del pelago, indicano per il Maggiore valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ di -35,14 ‰, molto simili a quelli misurati nei ciclopidi a luglio.

Nel 2009 sono stati campionati, oltre ai cladoceri di grandi dimensioni, anche quelli di piccola taglia, dei generi *Bosmina* e *Diaphanosoma*. Come si evince dall'esame del grafico in figura 1, in luglio ed ottobre, il *fingerprint* isotopico del carbonio di *Bosmina* ha sostanzialmente coinciso con quello di *Daphnia*, indicando un'identità di fonti alimentari; diversa è la situazione rilevata a novembre, quando il segnale di *Bosmina* coincide con quello misurato per i ciclopidi, indicando una dipendenza da zone del pelago più profonde rispetto a quelle abitate da *Daphnia*.

Molto prossimi a quelli di

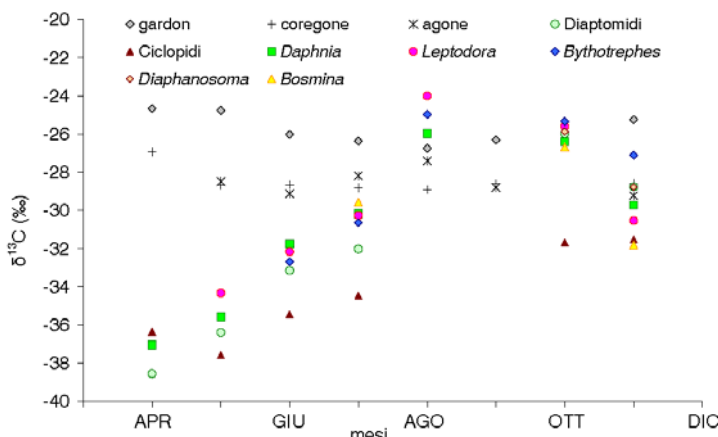


Fig. 1. Valori medi del rapporto isotopico del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$ ‰) misurati nel corso del 2009 per diversi taxa zooplanctonici pelagici del Lago Maggiore e in tre diverse specie di pesci.

Daphnia sono risultati i *fingerprint* isotopici del carbonio di *Diaphanosoma* in ottobre e novembre, fatto che sta ad indicare una dipendenza di quest'ultimo dalle stesse fonti alimentari utilizzate da *Daphnia*.

Il segnale isotopico di *Bythotrephes* è apparso invece discostarsi a novembre da quello di *Daphnia*, e questo potrebbe essere indicativo di una dipendenza da fonti più prossime al litorale. Un legame di *Bythotrephes* con il litorale lacustre è stato ipotizzato in passato come possibile spiegazione alle modificazioni nella durata della presenza di quest'organismo zooplanctonico nel pelago, diminuita in anni d'intense precipitazioni e in regime di piena (MANCA e DEMOTT, 2009).

Nel corso del 2009 sono state completate anche le analisi relative alle tre specie di pesci del Maggiore. I dati, rappresentati nel grafico in figura 1 indicano una generale dipendenza da fonti non pelagiche di alimento, con valori di $\delta^{13}\text{C}$ caratteristici di zone poco profonde e di organismi litorali. Tale dato è nettamente evidente per il gardon, specie ad abitudini litorali, il cui *fingerprint* si colloca intorno a valori di $\delta^{13}\text{C}$ -26 ‰, ma è anche abbastanza chiaro per le altre due specie, coregone e agone, ad abitudini più pelagiche. La scarsa dipendenza da fonti pelagiche di coregone e agone sussiste fino a giugno, ed è solamente a luglio che il loro segnale isotopico si approssima a quello degli zooplanctonti pelagici, indicandone da essi una stretta dipendenza alimentare. Si osserva inoltre come, queste due specie siano perfettamente sovrapponibili, quanto a base alimentare, fatta eccezione per agosto, quando il segnale isotopico di coregone sembra indicare anche l'utilizzo di fonti di carbonio da acque più profonde rispetto a quelle utilizzate dai prin-

cipali organismi costituenti lo zooplancton al momento del campionamento.

Il segnale isotopico dell'azo-

to, rappresentato nel grafico in figura 2, mette in luce come varino i rapporti trofici tra gli organismi zooplanctonici, e di quelli delle tre

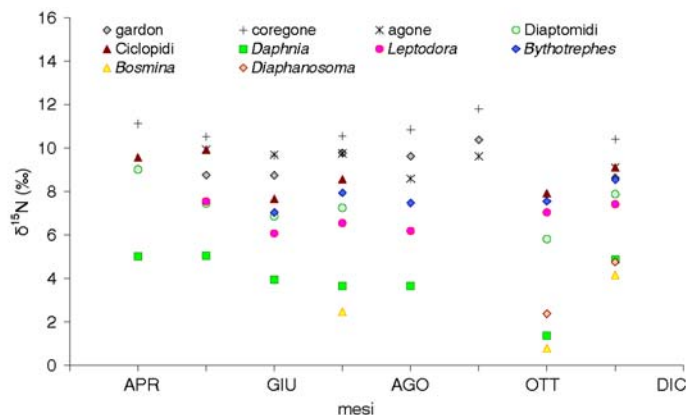


Fig. 2. Valori isotopici del $\delta^{15}\text{N}$ misurati nel corso dell'anno 2009 in diversi organismi zooplanctonici, e in tre specie di pesci, del Lago Maggiore.

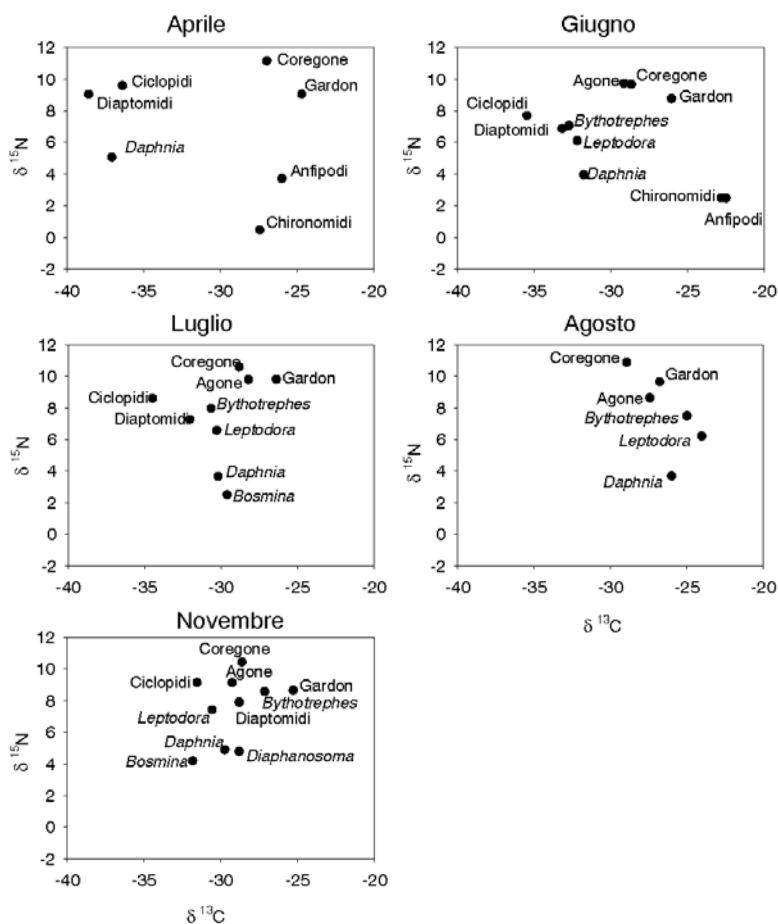


Fig. 3. Grafici trofochimici relativi ai segnali isotopici rilevati in diversi mesi del 2009 nei principali organismi zooplanctonici, del bentos litorale, ed in tre diverse specie di pesci del Lago Maggiore.

diverse specie ittiche, nel corso dell'anno.

Tendenzialmente, *Bosmina* presenta valori di arricchimento lievemente più bassi di quelli di *Daphnia*, in tutti e tre i mesi nei quali è stata rinvenuta. Quest'ultima presenta valori di $\delta^{15}\text{N}$ più elevati in primavera, tendenzialmente più bassi in estate, e minimi in ottobre. Un arricchimento tra il 2 e il 3 ‰ rispetto a *Daphnia* caratterizza *Leptodora* nei periodi primaverile ed estivo, mentre valori ben più elevati sono stati rilevati nel mese di ottobre, quando il *fingerprint* isotopico di *Daphnia* risultava molto basso, prossimo a quello di *Bosmina*.

Tra gli organismi zooplanctonici, *Leptodora* è risultata arricchita in $\delta^{15}\text{N}$ in modo significativo solamente a ottobre, con una differenza rispetto a *Daphnia* di oltre il 5 ‰, e dell'1,5 ‰ rispetto ai diaptomidi, non sufficiente a giustificare l'attribuzione ad un livello trofico più elevato rispetto a questi ultimi.

Il segnale isotopico dell'azoto di *Bythotrephes* è risultato, in gene-

rale, superiore rispetto a quello di *Leptodora* (Fig. 2), con un arricchimento rispetto a *Daphnia* compreso tra un minimo del 3 ‰ (a maggio) e un massimo di circa il 6 ‰ (in ottobre). I copepodi ciclopidi sono risultati caratterizzati da valori di $\delta^{15}\text{N}$ prossimi a quelli di *Bythotrephes*, in taluni casi sovrapponibili a quelli di agone e coregone (i.e. a maggio ed a novembre).

Molto interessante è apparso anche il *fingerprint* del gardon, inferiore rispetto a quelli di coregone e agone da aprile a giugno, coincidente con quello del secondo a luglio e compreso tra i due in agosto e settembre. L'arricchimento massimo in ogni data di campionamento è risultato quello del coregone, valori compresi tra un minimo del 5,5 ‰ (a maggio) e un massimo del 7,2 ‰ (in agosto).

Il complesso dei dati raccolti nel 2009 (Fig. 3) consente di caratterizzare le modificazioni stagionali nella rete trofica pelagica e di dare una prima descrizione quantitativa di quella litorale, identificando alcune possibili interazioni

tra le due. I dati dimostrano la necessità di investigare i *fingerprint* isotopici del bentos litorale in diversi momenti dell'anno e su substrati sia inorganici sia fitofili, sì da poter meglio caratterizzare il segnale misurato nelle tre specie di pesci, indicativo di un ruolo non trascurabile, e per certi versi inatteso, di fonti non planctoniche di alimento. Da ultimo, la perfetta sovrapponibilità dei valori ottenuti per *Diaphanosoma* e *Daphnia* a novembre, suggerisce come il primo possa avere, nella rete trofica pelagica del Lago Maggiore, un ruolo vicariante rispetto alla seconda. Questo, e altri risultati emersi durante i primi due anni d'indagine, dimostrano come l'approccio di tipo funzionale, alla base delle analisi di isotopi stabili di carbonio e azoto, sia di fondamentale importanza per la definizione di quella *operational diversity* sulla quale si fonda una gestione sostenibile dell'ambiente, finalizzata al mantenimento e, ove necessario alla riabilitazione, delle strutture ecologiche (MOSS *et al.*, 2009).

BIBLIOGRAFIA

- MANCA M., DEMOTT W.R., 2009. Response of the invertebrate predator *Bythotrephes* to a climate-linked increase in the duration of a refuge from fish predation. *Limnol. Oceanogr.*, **54**(6, part 2): 2506-2512.
- MANCA M., SPAGNUOLO T., COMOLI P., 1994. Variations in carbon and nitrogen content with body length of *Daphnia hyalina-galeata* s.l. from laboratory and field observations. *J. Plankton Res.*, **16**(10): 1303-1314.
- MANCA M., COMOLI P., SPAGNUOLO T., 1997. Length-specific carbon content of the *Daphnia* population in a large Italian subalpine lake, Lago Maggiore (Northern Italy): the importance of seasonality. *Aquat. Sci.*, **59**: 48-56.
- MANCA M., VISCONTI A., FADDA A., CARONI R., CERUTTI I., VOLTA P., 2009. Indagini sullo zooplancton e sulla rete trofica pelagica attraverso analisi d'isotopi stabili di carbonio e azoto. In: C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbana. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2008*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 34-52.
- MOSS B., HERING D., GREEN A.J., AIDOUZ A., BECARES E., BEKLIOLU M., BENNION H., BOIX D., BRUCET S., CARVALHO L., CLEMENT B., DAVIDSON T., DECLERCK S., DOBSON M., VAN DONK E., DUDLEY B., FEUCHTMAYR H., FRIBERG N., GRENOUILLET G., HILLEBRAN H., HOBBAEK A., IRVINE K., JEPPESEN E., R. JOHNSON., JONES I., KERNAN M., LAURIDSEN T.L., MANCA M., MEERHOFF M., OLAFSSON J., ORMEROD S., PAPANTERGIADOU E., PENNING W.E., PTACNIK R., QUINTANA X., SANDIN L., SEFERLIS M., SIMPSON G., TRIGAL C., VERDON-SCHOT P., VERSCHOOR A.M., WEYHENMEYER G.A., 2009. Climate change and the future of freshwater biodiversity in Europe: a primer for policy-makers. *Freshwater Reviews*: **2**: 103-130.
- ZOHARY T., EREZ J., GOPHEN M., BERMANFRANK I., STILLER M., 1994. Seasonality of stable carbon isotopes within the pelagic food web of Lake Kinneret. *Limnol. Oceanogr.*, **39**: 1030-1043.