

Diversità delle diatomee bentoniche del lago Trasimeno e valutazione dello stato trofico lacustre

Valentina Della Bella¹, Gaia Crisantemi², Antonia Concetta Elia²

¹ Agenzia per la Protezione dell'Ambiente della Regione Umbria, Via Carlo Alberto dalla Chiesa, 32 – 05100 Terni

² Dipartimento di Chimica, Biologia, e Biotecnologie, Università degli Studi di Perugia, via Elce di Sotto – 06123, Perugia

Referente per la corrispondenza: v.dellabella@arpa.umbria.it

Pervenuto il 26.6.2020; accettato il 23.9.2020

Riassunto

È stato effettuato uno studio sulla composizione e struttura della comunità delle diatomee bentoniche, epilittiche ed epifittiche, del lago Trasimeno con le finalità di: 1) valutare la diversità biologica in relazione alla comunità esaminata; 2) valutare lo stato trofico attraverso l'applicazione dell'indice EPI-L, basato sulle diatomee bentoniche lacustri; 3) contribuire all'implementazione delle metodologie di valutazione degli ecosistemi lacustri a livello nazionale, nell'ambito della collaborazione tra le ARPA/APPA, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM). Con queste finalità sono state prelevate le diatomee in 5 stazioni rappresentative del lago. Il numero totale di taxa identificato è stato di 85 specie appartenenti a 26 generi. Il numero di specie in ogni stazione oscilla tra un minimo di 32 e un massimo di 46. La stazione in cui è stato reperito il maggior numero di specie è situata nell'area protetta Oasi La Valle. La specie più abbondante e frequente è *Encyonema caespitosum*, seguita da *Epithemia sorex*, *Staurosira grigorzyki*, *Pseudostaurosira brevistriata* e *Mastogloia smithii*. È stata inoltre confermata la presenza della specie esotica *Reimeria uniseriata*. Dall'applicazione dell'Indice EPI-L il lago è stato classificato nella Classe di Qualità Ecologica "Sufficiente" (sebbene soltanto in una stazione la percentuale delle specie utilizzate sia stata superiore al 70%, come previsto dal metodo). La classificazione trofica è concorde con la classificazione ecologica adottata da ARPA UMBRIA, basata su un giudizio associato sia alla comunità fitoplanctonica sia agli elementi chimico-fisici di base. Lo studio ha contribuito alla conoscenza in modo specifico delle comunità diatomiche bentoniche lacustri attualmente presenti nel lago Trasimeno e all'implementazione della metodologia di valutazione degli ecosistemi lacustri a livello nazionale, soprattutto per quanto riguarda la lista delle specie di riferimento utilizzata per il calcolo dell'indice EPI-L, ancora in fase di aggiornamento.

PAROLE CHIAVE: Biomonitoraggio / Indice EPI-L / laghi poco profondi / alghe Bacillariophyceae / Direttiva Quadro sulle Acque

Benthic diatom diversity of Lake Trasimeno: diatom community analysis and their use for the lake trophic status

A study was carried out on the composition and structure of the community of the benthic, epilithic and epiphytic diatoms of Lake Trasimeno, representative of the Mediterranean eco-region with the aim of 1) to assess the biological diversity of this environment in relation to the community biotic examined; 2) to assess the trophic status of lake through the application of the EPI-L index, based on the lake benthic diatoms; 3) to contribute to the implementation of lake ecosystem assessment methods at the national level, in the context of collaboration between the ARPA/APPA, the CNR and the Ministry of the Environment, Land and Sea Protection (MATTM). Diatoms were sampled from 5 representative stations of lake. The total number of taxa identified was 85 species belonging to 26 genera. The number of species in each station ranges from a minimum of 32 to a maximum of 46. The station with the greatest number of species is located in the protected area of the Oasis La Valle. The most abundant and frequent species is *Encyonema caespitosum*, followed by *Epithemia sorex*, *Staurosira grigorzyki*, *Pseudostaurosira brevistriata* and *Mastogloia smithii*. The presence of the exotic species *Reimeria uniseriata* has also been confirmed. The application of the EPI-L Index classified the lake in the "Sufficient" Ecological Quality Class (although only in one station the percentage of species used was greater than 70%, as required by the method). This trophic classification agrees with the institutional ecological classification of ARPA UMBRIA, based on a judgment associated with both the phytoplankton community and the basic chemical-physical elements. This study contributed to the specific knowledge of the diatomic benthic lake communities of Trasimeno and to implementation of the assessment methodology of lake ecosystems at national level, especially regarding the reference list used for the calculation of the EPI-L index, still being updated.

KEY WORDS: Biomonitoring / EPI-L Index / shallow lake / algae Bacillariophyceae / Water Framework Directive

INTRODUZIONE

L'importanza della biodiversità è riconosciuta a livello globale per il suo ruolo chiave nel mantenimento dei servizi ecosistemici. Le diatomee (Bacillariophyta) costituiscono uno dei gruppi più diversificati, come numero di specie, ed ecologicamente importanti del fitoplancton. Hanno un fondamentale ruolo nei cicli biogeochimici e forniscono il 20-25% del carbonio fissato e dell'ossigeno atmosferico a livello globale. Rappresentano anche una delle principali componenti del fitobenthos, ritrovandosi nei diversi ambienti con generi e specie differenti a seconda delle caratteristiche chimico-fisiche, idrologiche e geografiche. Le diatomee, come produttori primari, si trovano alla base della rete trofica, e risultano molto sensibili alle variazioni dei parametri chimici e fisici delle acque, fornendo utili informazioni sullo stato del primo livello della catena trofica nell'ecosistema.

L'efficacia delle diatomee come bioindicatori è confermata dall'ampio utilizzo nella valutazione della qualità delle acque continentali. Sono utilizzate per la valutazione ambientale già dall'inizio del XX secolo, in quanto rispondono alle alterazioni delle condizioni ambientali modificando la composizione tassonomica e l'abbondanza delle specie della comunità. Alcune specie mostrano una ampia valenza ecologica, molte altre sono invece estremamente esigenti e non tollerano grandi variazioni di alcuni parametri come la salinità, i nutrienti, il pH e la sostanza organica (Della Bella *et al.*, 2007).

L'efficienza delle diatomee bentoniche come bioindicatori dipende molto dalla loro esatta identificazione e dalla corretta applicazione dell'indice diatamico utilizzato. A partire dagli anni '70 sono stati sviluppati molti metodi di valutazione per gli ecosistemi fluviali utili a quantificare diversi tipi di perturbazioni ambientali in ragione del breve ciclo vitale delle diatomee e quindi della capacità di questi organismi di ricostruire nuove biocenosi anche in poche settimane (Szulc e Szulc, 2013). Pertanto sono state considerate indicatori biologici, come riportato nella Direttiva Quadro sulle Acque (WFD 2000/60) (Stauber *et al.*, 1988). Le diatomee con il fitobenthos rappresentano uno degli elementi di qualità biologica per valutare lo Stato Ecologico dei corpi idrici, come riportato a livello legislativo nella WFD/60/2000/EC (Commissione Europea, 2000; Schaumburg *et al.*, 2004).

L'individuazione di un sistema di valutazione a livello nazionale che rispetti le richieste europee è quindi fondamentale e necessaria per la classificazione dello stato ecologico lacustre. Questo aspetto è parte integrante dell'attività di implementazione della Direttiva Quadro Acque a livello nazionale ed europeo. Per questo motivo sono stati sviluppati molti indici biotici basati sulle diatomee, anche in ambiente

lacustre. A livello nazionale è stato elaborato dal CNR in collaborazione con numerose Agenzie Regionali e Provinciali di Protezione Ambientale (ARPA/APPA), un "Indice per la valutazione della qualità delle acque lacustri italiane a partire dalle diatomee epifittiche ed epilittiche (EPI-L)". Tuttavia ad oggi la sua applicazione non è ancora stata recepita a livello nazionale in un Decreto Ministeriale.

Con il presente lavoro è stato effettuato uno studio sulla composizione e struttura della comunità delle diatomee bentoniche, epilittiche ed epifittiche, del Lago Trasimeno, rappresentativo della eco-regione mediterranea, con la finalità di: 1) valutare la diversità biologica di tale ambiente in relazione alla comunità biotica esaminata; 2) valutare lo stato trofico del lago attraverso l'applicazione dell'indice EPI-L, basato sulle diatomee bentoniche lacustri; 3) contribuire all'implementazione delle metodologie di valutazione degli ecosistemi lacustri a livello nazionale, nell'ambito della collaborazione tra le ARPA/APPA, il CNR e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM).

MATERIALI E METODI

Area di studio

Il lago Trasimeno è il quarto lago italiano per estensione (124 km²), con un diametro di circa 11 km e un perimetro di circa 53 km, è il più esteso dei laghi dell'Italia centrale e meridionale. È di origine tettonica, poco profondo (profondità massima 6 m), con un'altitudine media di 257 m s.l.m. e con tre piccole isole: Polvese, Maggiore e Minore.

Il lago è chiuso, senza uno sbocco naturale e con piccoli corsi d'acqua che alimentano il bacino idrico, presenta una zona neritica molto estesa e può essere definito lago piatto o laminare o *shallow lake*; di conseguenza, la temperatura dell'acqua risente particolarmente sia della temperatura dell'aria che dell'irraggiamento solare, rendendo il lago fortemente soggetto all'evaporazione. La forte dipendenza dei livelli lacustri dalle condizioni meteo-climatiche fa del lago un sistema molto fragile, in particolare nell'attuale scenario del cambiamento climatico, soprattutto in una fase climatica caldo/secca, come quella che sta attraversando negli ultimi anni (Ludovisi *et al.*, 2013; 2014).

L'ecosistema lacustre è anche un'area di eccezionale valore per ricchezza di flora e fauna (Martinelli, 2011), incluso in un Parco Naturale Regionale e in due siti Natura 2000 (IT5210018 e IT5210070). Le principali pressioni antropogeniche sono legate all'agricoltura e alle pratiche zootecniche, al turismo e alle attività ricreative.

Le acque del lago presentano una composizione di base di tipo "clorurato-sodica", essendo presenti con-

centrazioni di sodio e cloro maggiori rispetto agli altri ioni e complessivamente presenta una elevata salinità, superiore a quella di altri laghi italiani (Giovanardi *et al.*, 1995). A causa della scarsa profondità media del lago, i parametri chimico-fisici delle acque sono soggetti a marcate variazioni stagionali. In particolare, il pH, che presenta valori mediamente di 8-8,5, mostra dei minimi invernali e dei massimi estivi (fino a 10), legati sia alle variazioni stagionali di temperatura delle acque che alla produttività della vegetazione macrofittica sommersa (Tiberi *et al.*, 1971). Sulla base delle medie dei parametri clorofilla *a* e P totale, il Trasimeno può essere definito da mesotrofico a eutrofico, subendo un progressivo processo di eutrofizzazione e impoverimento delle biocenosi acquatiche, segnalato da mutamenti nelle comunità planctoniche, macrobentoniche, macrofittiche ed ittiche. I fenomeni, tuttora in atto, sembrano provocati dalle oscillazioni del livello idrico, dal progressivo aumento di carichi inquinanti e dall'introduzione di specie aliene invasive (Della Bella, 2019).

Analisi delle comunità diatomiche

Raccolta e trattamento dei campioni, osservazione e conteggio delle specie

Le diatomee bentoniche sono state campionate nell'agosto 2016 in 4 stazioni: Tuoro, Castiglione del Lago, Panicarola e Monte del Lago, rappresentative dei 4 quadranti del lago, e in una quinta stazione nella porzione sud-est del lago, nell'area protetta Oasi La Valle, selezionata per la sua importanza per la conservazione della biodiversità lacustre (Fig. 1, Tab. I).

Il campione di diatomee è stato raccolto seguendo la metodica riportata nelle Linee Guida ISPRA (Buzzi *et al.*, 2014). Le diatomee epilittiche sono state pre-



Fig. 1. Mappa delle stazioni di campionamento sul lago Trasimeno (in rosso le stazioni dove sono state prelevate le diatomee epilittiche, in bianco quelle epifittiche, sul canneto).

levate su ciottoli di diametro non inferiore ai 6 cm, raschiando con uno spazzolino a setole rigide complessivamente circa 100 cm² di patina mucillaginosa sulla superficie di 5 pietre scelte in maniera casuale all'interno della stazione considerata. Le diatomee epifittiche sono state prelevate raschiando la superficie sommersa di almeno 5 steli di macrofite emergenti (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) scelti casualmente nell'area di campionamento, raggiunta con una barca. Successivamente, in laboratorio i campioni sono stati trattati sotto cappa con perossido di idrogeno a caldo e i frustuli ben puliti sono stati montati su vetrini permanenti con resina ad elevato indice di rifrazione (Naphrax®).

Per l'osservazione dei vetrini è stato utilizzato un microscopio ottico a 1000 ingrandimenti ad immersione collegato ad un sistema digitale di analisi di immagine. In ciascun vetrino sono state contate 400 valve, come indicato riportata nelle Linee Guida ISPRA (Buzzi *et al.*, 2014). Attraverso l'utilizzo di un software sono state effettuate misure ed acquisite immagini per l'analisi della morfologia dei frustuli e l'identificazione delle specie. Le diatomee sono state identificate utilizzando principalmente le guide tassonomiche di Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b, 2000), Lange-Bertalot (2001), Hofmann *et al.* (2011), Bey e Ector (2013), Falasco *et al.* (2013), Cantonati *et al.* (2017). La nomenclatura impiegata è in accordo con il catalogo delle diatomee presente nel sito curato dall'Institute for Biodiversity Science and Sustainability della California Academy of Sciences (<http://researcharchive.calacademy.org/research/diatoms/names/index.asp>).

I campioni sono stati osservati anche al microscopio elettronico a scansione (SEM; Nikon Jeol NeoScope JCM-7000 SEM) per la conferma dell'identificazione di alcune specie. I frustuli puliti disidratati sono stati fatti aderire ad un nastro adesivo in carbonio e posti su degli *stub* porta-campioni e metallizzati per 30 secondi con oro prima dell'osservazione al SEM.

Analisi dei dati

Calcolo dell'Indice EPI-L

Per la valutazione dello stato trofico del lago Trasimeno è stato utilizzato "l'Indice per la valutazione

Tab. I. Elenco delle stazioni di campionamento (X, Y = coordinate UTM ED50 fuso 33).

Cod.	Nome Stazioni	X	Y	substrato
1	Monte del Lago	269812	4781443	Ciottoli
2	Tuoro	262438	4785574	Ciottoli
3	Castiglione del Lago	260578	4773553	Ciottoli
4	Panicarola	264273	4774442	Ciottoli
5	Oasi La Valle	271099	4776582	Canneto

della qualità delle acque lacustri italiane a partire dalle diatomee epifitiche ed epilittiche (EPI-L)". Questo indice è stato sviluppato dal CNR, su incarico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con la collaborazione delle ARPA/APPA (Marchetto *et al.*, 2013) e ad oggi la sua applicazione non è ancora stata recepita a livello nazionale in un Decreto Ministeriale.

Il metodo sviluppato per le acque lacustri italiane utilizza la formula delle medie ponderate. Il peso trofico (p) e il valore indicatore (v) delle singole specie sono stati ricavati dall'insieme dei dati raccolti durante l'esercizio per il suo sviluppo, limitatamente alle specie che rappresentavano almeno l'1% del conteggio in 3 o più laghi e che raggiungevano una percentuale minima del 3% in almeno un lago, e sono riportati in una tabella di riferimento allegata al metodo. Il peso trofico di ciascuna specie è stato ottenuto come media ponderata della concentrazione media annua di fosforo totale epilimnetico utilizzando come pesi le abbondanze percentuali di quella specie in tutti i 119 campioni esaminati. Il valore indicatore a sua volta è stato ottenuto come media ponderata dei quadrati delle differenze tra la concentrazione media annua di fosforo totale epilimnetico e il peso trofico sopra definito, utilizzando gli stessi pesi. Per evitare che alcune specie assumessero valori indicatori eccessivi, tutti i valori superiori a 30 sono stati sostituiti con un valore indicatore di 30.

In questo studio, l'Indice EPI-L è stato calcolato per ogni stazione del lago a partire dalle abbondanze relative percentuali (a) delle n specie presenti con la formula seguente:

$$EPI - L = 4 - 2 \frac{\sum_{i=1}^n a_i p_i v_i}{\sum_{i=1}^n a_i v_i}$$

dove: a = abbondanza relativa della specie i -esima; p = peso trofico; v = valore indicatore per le diatomee bentoniche lacustri.

La condizione per la sua applicazione è che almeno il 70% delle valve contate in ciascun campione appartenga ad una delle specie riportate nella tabella di riferimento del metodo.

Tab. II. Parametri chimico-fisici del lago Trasimeno.

Codice	Stazioni	pH	Torbidità (NTU)	Ossigeno disciolto (mg/L)	Conducibilità (μ S/cm)
1	Monte del Lago	8,57	52,3	7,6	1379
2	Tuoro	8,75	54,7	9,05	1429
3	Castiglione del Lago	8,67	49,7	10,26	1426
4	Panicarola	8,46	67,4	7,54	1459
5	Oasi La Valle	8,66	39,9	10,27	1422

RISULTATI

Caratterizzazione fisico-chimica e stato chimico del lago

La tabella II riporta i risultati delle analisi fisico-chimiche effettuate durante i campionamenti di agosto 2016; si evidenziano elevati valori di conducibilità (fino a 1459 μ S/cm) ed un pH leggermente alcalino (8,46 - 8,75).

Il grafico della figura 2 riporta gli andamenti delle concentrazioni e la media annua di fosforo totale nel lago Trasimeno nell'anno di studio.

In accordo ai limiti dei livelli di fosforo totale riportati nel D.M. 260/2010 (Tab. III), il lago Trasimeno (appartenente alla tipologia di macrotipo lacustre L4), risulta ricadere nella Classe "Sufficiente", con la concentrazione più elevata del Livello 3 (>20 μ g/l).

Le comunità diatomiche

Diversità, struttura e composizione delle comunità

Nell'ecosistema lacustre oggetto di questo studio sono state campionate in totale 5 stazioni. I campionamenti sono stati effettuati su diverse tipologie di substrati (ciottoli e canneto). Nel lago Trasimeno, in totale sono state identificate 85 specie di diatomee, appartenenti a 26 generi (Tab. IV e Tab. V). Il genere con il maggior numero di specie è *Nitzschia*, con un totale di 13 specie.

La tabella V riporta la lista completa delle specie e le abbondanze percentuali ritrovate nelle 5 stazioni di campionamento. In totale sono state conteggiate 2022

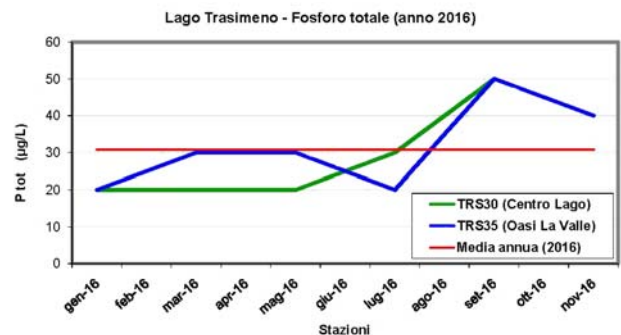


Fig. 2. Grafico delle concentrazioni di fosforo totale (Fonte dati: ARPA UMBRIA) nell'anno di studio.

valve di frustuli di diatomee.

Il numero di specie identificato è compreso tra un minimo di 32, nelle stazioni Tuoro e Panicarola, e un massimo di 46, nella stazione Oasi La Valle, che è un'area protetta.

Nella figura 3 sono state messe in relazione le percentuali di abbondanza delle specie e il numero di stazioni in cui sono state rilevate. Si riportano nel grafico (Fig. 3) le specie più abbondanti, con una percentuale di abbondanza superiore al 1%. La specie più abbondante ritrovata in tutte le stazioni esaminate è *Encyonema caespitosum* (26,1%) (Fig. 4a), seguita da *Epithemia sorex* (11,1%) (Fig. 4b), *Staurosira grigorszkyi* (8,4%) (Fig. 5), *Pseudostaurosira brevistriata* (8,3%) e *Mastogloia smithii* (4,3%) (Fig. 4c in alto). Si è registrata la presenza anche della specie esotica *Reimeria uniseriata*.

Applicazione Indice EPI-L e valutazione stato trofico lacustre

Successivamente all'identificazione e conteggio degli individui, le comunità diatomiche dei campioni epilittici (1-4) sono state utilizzate per il calcolo dell'Indice EPI-L. Dall'applicazione dell'Indice EPI-L il lago Trasimeno è stato classificato nella Classe di Qualità

Tab. III. Individuazione dei livelli di fosforo totale (modificato da Tab. 4.2.2/a del DM 260/2010). L1: laghi con profondità massima maggiore di 125 m; L2: altri laghi con profondità media maggiore di 15 m; L3: altri laghi con profondità media minore di 15 m, non polimittici; L4: laghi polimittici; I1: invasi dell'ecoregione mediterranea con profondità media maggiore di 15 m; I2: invasi con profondità media maggiore di 15 m; I3: invasi con profondità media minore di 15 m, non polimittici; I4: invasi polimittici.

Valore di fosforo per macrotipi	Livello 1 Classe elevata	Livello 2 Classe buona	Livello 3 Classe sufficiente
Punteggio	5	4	3
L1, L2, I1, I2	≤ 8	≤ 15	> 15
L3, L4, I3, I4	≤ 12	≤ 20	> 20

Tab. IV. Numero di specie identificate per ciascun genere.

Genere	N. specie
<i>Nitzschia</i>	13
<i>Cymbella</i>	9
<i>Amphora</i>	8
<i>Fragilaria, Navicula</i>	7
<i>Encyonema, Gomphonema</i>	7
<i>Staurosira, Cocconeis, Epithemia</i>	5
<i>Pseudostaurosira</i>	3
<i>Gyrosigma, Placoneis, Ulnaria</i>	2
<i>Achnanthisdium, Amphipleura, Bacillaria, Diploneis</i>	1
<i>Hippodonta, Mastogloia, Reimeria, Rhopalodia</i>	1
<i>Rhoicosphenia, Staurosirella, Tryblionella, Tabularia</i>	1

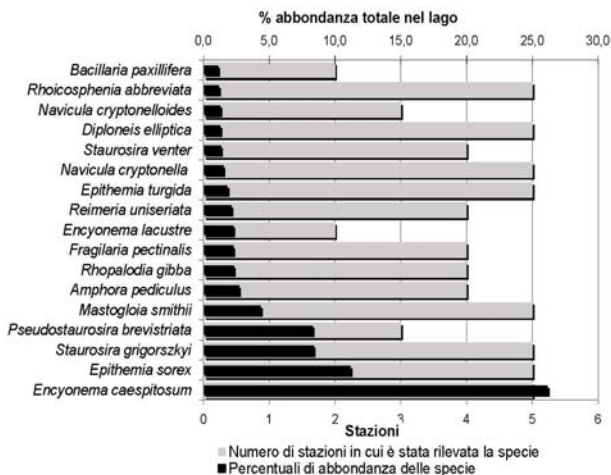


Fig. 3. Abbondanza percentuale totale delle specie nel lago Trasimeno (> 1%) e numero di stazioni in cui sono state rilevate.

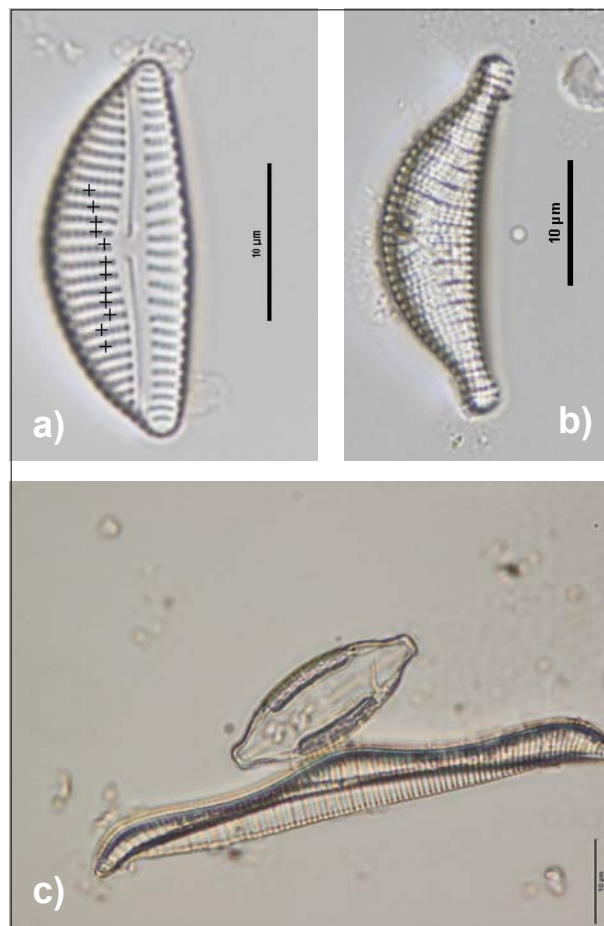


Fig. 4. Foto di alcune delle specie più abbondanti effettuate al microscopio ottico (100x ingrandimenti ad immersione): a) *Encyonema caespitosum*, b) *Epithemia sorex*, c) *Mastogloia smithii* (sopra) e *Rhopalodia gibba* (sotto). Il segmento indica la misura di 10 μ.

Tab. V. Abbondanze percentuali delle specie ritrovate nelle 5 stazioni di campionamento (in grassetto le specie più abbondanti).

Specie	Descrittore	1	2	3	4	5
		M. del Lago	Tuoro	C. del Lago	Panicarola	Oasi La Valle
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	(Kützing) Czarnecki	0,000	0,000	0,000	2,481	0,000
<i>Amphipleura</i> sp.	Kützing	0,000	0,000	0,000	0,248	0,000
<i>Amphora aequalis</i>	Krammer	0,739	1,244	0,000	0,000	0,000
<i>Amphora affinis</i>	Kützing	0,246	0,000	1,238	0,496	0,000
<i>Amphora copulata</i>	(Kützing) Schoeman et Archibald	0,246	0,000	0,495	0,000	0,000
<i>Amphora eximia</i>	J.R Carter	0,000	0,498	0,000	0,000	0,000
<i>Amphora inariensis</i>	Krammer	0,739	0,000	0,000	1,489	0,000
<i>Amphora indistincta</i>	Levkov	1,232	0,000	0,000	1,241	1,720
<i>Amphora ovalis</i>	(Kützing) Kützing	0,246	0,000	0,000	0,496	0,000
<i>Amphora pediculus</i>	(Kützing) Grunow	1,970	1,741	7,178	0,000	2,457
<i>Bacillaria paxillifera</i>	(O.F. Müller) Hendey	0,000	0,000	0,000	0,496	4,914
<i>Cocconeis euglypta</i>	Ehrenbergh	0,985	0,000	0,000	0,248	1,720
<i>Cocconeis euglyptoides</i>	(Geitler) Lange-Bertalot	0,000	0,000	0,000	0,000	0,983
<i>Cocconeis placentula</i>	Ehrenbergh	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000
<i>Cymbella excisiformis</i>	Krammer	0,000	0,000	0,743	0,000	0,000
<i>Cymbella cymbiformis</i>	C. Agardh	0,000	0,000	0,000	0,744	0,000
<i>Cymbella lange-bertalotii</i>	Krammer	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000
<i>Cymbella neocistula</i>	Krammer	0,493	0,000	0,000	0,000	0,491
<i>Cymbella neoleptoceros</i>	Krammer	2,217	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Cymbella parva</i>	(W. Smith) Kirchner	0,000	0,000	0,990	0,000	0,000
<i>Cymbella proxima</i>	Reimer	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000
<i>Cymbella tumida</i>	(Brébisson) Van Heurck	0,739	0,000	0,000	1,241	0,737
<i>Cymbella vulgata</i>	Krammer	0,246	0,000	0,495	0,744	0,000
<i>Diploneis elliptica</i>	(Kützing)	0,739	2,488	1,238	0,993	0,737
<i>Encyonema caespitosum</i>	Kützing	54,680	29,851	24,257	14,888	6,880
<i>Encyonema lacustre</i>	(C. Agardh) Mills	0,000	0,000	10,149	0,000	0,983
<i>Encyonema neogratile</i>	Krammer	0,000	0,746	0,000	0,000	0,983
<i>Encyonema prostratum</i>	(Berkeley) Kützing	0,000	1,741	0,000	0,744	0,491
<i>Encyonema silesiacum</i>	(Bleisch) D. G. Mann	0,493	0,000	0,000	0,000	0,491
<i>Epithemia adnata</i>	(Kützing) Brébisson	0,000	0,000	0,495	0,496	0,000
<i>Epithemia sores</i>	Kützing	9,606	14,925	7,921	17,370	5,897
<i>Epithemia turgida</i>	(Ehrenberg) Kützing	0,246	4,975	0,743	0,744	2,211
<i>Fragilaria acidoclinata</i>	Lange-Bertalot et G. Hofmann	0,246	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Fragilaria capucina</i>	Desmazières	1,478	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Fragilaria pectinalis</i>	(O.F. Müller) Lyngbye	1,478	6,468	0,000	0,248	2,948
<i>Fragilaria pinnata</i>	Ehrenberg	0,739	0,000	0,743	0,000	0,000
<i>Fragilaria pararumpens</i>	Lange-Bertalot, G. Hofmann et Weum	0,493	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Fragilaria tenera</i>	(W. Smith) Lange-Bertalot	0,000	0,249	0,000	0,000	0,000
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	(Kützing) Petersen	0,000	0,000	0,990	0,000	0,000
<i>Gomphonema angustum</i>	C. Agardh	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000
<i>Gomphonema italicum</i>	Kützing	0,000	0,000	0,000	0,000	0,983
<i>Gomphonema lagenula</i>	Kützing	1,232	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Gomphonema pumilum</i>	(Grunow) Reichardt et Lange-Bertalot	1,232	0,000	1,238	0,000	0,000
<i>Gomphonema subclavatum</i>	(Grunow) Grunow	0,000	0,000	0,743	0,000	0,000
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	(Kützing) Rabenhorst	0,739	0,746	0,000	0,744	0,491
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	(Kützing) Rabenhorst	0,246	0,746	0,495	0,000	0,246
<i>Hippodonta capitata</i>	(Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski	0,246	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Hippodonta hungarica</i>	(Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski	0,493	0,000	0,000	0,248	0,000
<i>Mastogloia smithii</i>	Thwaites	4,680	4,478	6,683	3,970	1,720
<i>Navicula capitatoradiata</i>	Germain	0,493	1,244	0,000	0,248	0,246
<i>Navicula cryptotenella</i>	Lange-Bertalot	0,739	1,990	0,495	0,744	3,440
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	Lange-Bertalot	0,000	3,483	0,990	0,000	1,720
<i>Navicula antonii</i>	Lange-Bertalot	0,000	0,000	0,000	0,000	0,491

Specie	Descrittore	1	2	3	4	5
		M. del Lago	Tuoro	C. del Lago	Panicarola	Oasi La Valle
<i>Navicula veneta</i>	Kützing	0,000	0,000	0,000	0,000	0,491
<i>Navicula splendicula</i>	VanLandingham	0,000	0,498	0,743	0,000	0,000
<i>Navicula erifuga</i>	Lange-Bertalot	0,000	0,000	0,000	0,000	0,491
<i>Nitzschia heufleriana</i>	Grunow	0,493	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Nitzschia amphibia</i>	Grunow	0,000	0,000	0,000	0,248	0,246
<i>Nitzschia soratensis</i>	E.A. Morales & M.L. Vis	1,232	0,995	0,000	0,000	0,000
<i>Nitzschia acidoclinata</i>	Lange-Bertalot	0,000	0,000	0,000	0,248	0,000
<i>Nitzschia capitellata</i>	Hustedt	0,000	0,000	0,000	0,000	0,246
<i>Nitzschia circumscuta</i>	(J.W. Bailey) Grunow	0,000	0,000	0,000	0,248	0,000
<i>Nitzschia dissipata</i>	(Kützing)Grunow	0,000	0,995	0,000	0,000	3,194
<i>Nitzschia lacuum</i>	Lange-Bertalot	0,000	0,000	0,000	0,000	0,491
<i>Nitzschia filiformis</i>	(W. Smith) Van Heurck	0,000	0,000	1,733	0,744	1,966
<i>Nitzschia fonticola</i>	Grunow	0,000	0,000	0,000	0,000	4,177
<i>Nitzschia frustulum</i>	(Kützing)Grunow	0,739	0,995	0,495	0,000	0,491
<i>Nitzschia gracilis</i>	Hantzsch	0,000	0,498	0,000	0,000	0,000
<i>Placoneis clementis</i>	(Grunow) Cox	0,000	0,000	0,743	0,000	0,000
<i>Placoneis elliptica</i>	(Hustedt) T. Ohtsuka	0,000	1,493	0,000	0,000	0,983
<i>Pseudostaurosira alvareziae</i>	Cejudo-Figueiras, E.A.Morales & Ector	0,000	0,000	0,000	0,000	0,983
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	(Grunow) Williams & Round	0,000	3,980	0,000	15,136	22,113
<i>Pseudostaurosira sp.</i>	Williams & Round	0,000	0,000	0,000	0,000	4,177
<i>Reimeria uniseriata</i>	Sala, Guerrero & Ferrario	2,956	2,488	3,713	1,241	0,000
<i>Rhopalodia gibba</i>	(Ehrenberg) O. Müller	0,000	1,990	6,188	2,233	0,983
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	(C. Agardh) Lange-Bertalot	0,246	1,244	0,990	0,248	2,948
<i>Staurosira construens</i>	Ehrenberg	0,000	1,493	1,238	0,496	0,737
<i>Staurosira grigorszkyi</i>	Ács, Morales & Ector	1,970	2,239	9,901	27,295	0,491
<i>Staurosira mutabilis</i>	(W. Smith) Grunow	0,000	0,000	0,743	0,000	0,737
<i>Staurosira venter</i>	(Ehrenberg) Grunow	0,000	1,493	1,485	0,496	2,948
<i>Staurosirella pinnata</i>	(Ehrenberg) Williams & Round	0,000	0,000	0,000	0,000	0,491
<i>Tryblionella levidensis</i>	W. Smith	0,000	1,741	0,000	0,000	0,000
<i>Tabularia fasciculata</i>	(Agardh) Williams & Round	0,000	0,249	0,000	0,000	0,491
<i>Ulnaria danica</i>	(Kützing) Compère & Bukhtiyarova	0,000	0,000	0,000	0,000	0,737
<i>Ulnaria ulna</i>	(Nitzsch) Compère	1,970	0,000	1,733	0,000	0,000
Numero di specie		38	32	36	32	46

Ecologica “Sufficiente” (Tab. VI). Per ottenere questo risultato è stato calcolato il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) medio, utilizzando il Valore di Riferimento per i laghi poco profondi (*shallow*) indicato nel Report Intercalibrazione a livello europeo (Kelly *et al.*, 2014) e qui riportato nella tabella VII. Soltanto nella stazione 2 “Monte del Lago” la percentuale delle specie utilizzate per il calcolo riportata nella tabella di riferimento del Report CNR-ISE (Marchetto *et al.*, 2013) è stata superiore al 70%.

DISCUSSIONE

Questo lavoro ha riguardato l’analisi delle comunità di diatomee bentoniche del lago Trasimeno e il loro utilizzo per la valutazione dello stato trofico lacustre.

Per quanto riguarda le caratteristiche chimico-fisiche delle acque è stato possibile osservare come il pH (8,46 - 8,75) registrato nel 2016 sia una conferma di un lago leggermente alcalino. Un altro parametro importante che

caratterizza il lago Trasimeno è l’elevata conducibilità con un valore massimo di 1459 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) rilevato durante l’anno di studio. Per quanto riguarda le caratteristiche trofiche delle acque, possiamo vedere l’andamento del fosforo totale nel 2016, con un valore medio annuale superiore ai 30 $\mu\text{g}/\text{L}$ che, in accordo ai livelli di fosforo riportati nel Decreto Ministeriale 260/2010, classifica il lago Trasimeno nella classe peggiore, Classe 3 “Classe sufficiente”. Questi risultati sono in linea con la classificazione degli elementi fisico-chimici di base effettuata da ARPA UMBRIA nel triennio di monitoraggio 2015-2017 (Cingolani e Charavgis, 2018), che conferma un giudizio complessivo delle acque del lago in stato sufficiente, determinato in misura prevalente dai parametri relativi alla trasparenza e al fosforo totale, che hanno mostrato valori medi compatibili con il livello 3 (sufficiente).

Ad oggi le informazioni sulle comunità di diatomee bentoniche del lago sono ancora scarse. La prima in-

dagine, relativa all'elenco sistematico delle diatomee bentoniche e planctoniche presenti nei differenti habitat del lago è stata svolta intorno alla fine degli anni '60 (Granetti, 1984). Successivamente ARPA UMBRIA, nell'ambito del Programma Nazionale "Diatomee lacustri", in collaborazione con CNR-ISE e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha pubblicato una prima analisi qualitativa delle comunità di diatomee bentoniche e un primo tentativo di classificazione utilizzando tali comunità (Di Brizio *et al.*, 2014). Il presente studio ha evidenziato un'elevata biodiversità diatomica presente nel lago, intesa come un elevato numero di specie totali identificate, superiore a 80. Questo lavoro ha permesso il ritrovamento e l'identificazione di numerose specie non registrate nel 2012 (Di Brizio *et al.*, 2014) sulle diatomee bentoniche di due stazioni (Monte del Lago e Castiglione del Lago), durante il quale sono state identificate complessivamente 36 specie, numero inferiore a quello registrato durante il presente studio in cui la stazione dove è stata ritrovata la più elevata biodiversità è quella situata nell'Oasi La Valle (46 specie), un'area protetta in cui il campionamento è stato effettuato sul canneto identificando quindi le diatomee epifitiche. Lo scopo di questo campionamento è stato proprio quello di valutare l'attuale biodiversità diatomica in quest'area protetta di notevole rilevanza per la conservazione della diversità floristica e faunistica lacustre, e quindi a basso impatto antropico. Per quanto riguarda la struttura e la composizione delle comunità diatomiche, le specie più ricorrenti e abbondanti nelle cinque stazioni di studio sono state *Encyonema caespitosum*, *Epithemia sorex*, *Staurosira grigorszkyi*, *Mastogloia smithii* e *Pseudo-staurosira brevistriata*. Si riporta di seguito l'ecologia di queste specie.

Encyonema caespitosum è stata definita una specie oligoalobia (indifferente) e alcalifila, ed è stata registrata come estremamente diffusa e abbondante nelle zone rivierasche del lago già negli anni '60 (Granetti, 1984). Questa specie produce colonie a forma di tubi gelatinosi entro cui vivono in fila le singole cellule, tubi che si aggrovigliano su materiali sommersi, a poca profondità, formando masse per lo più clavate di color nocciola. Il particolare habitat fa deporre a favore della

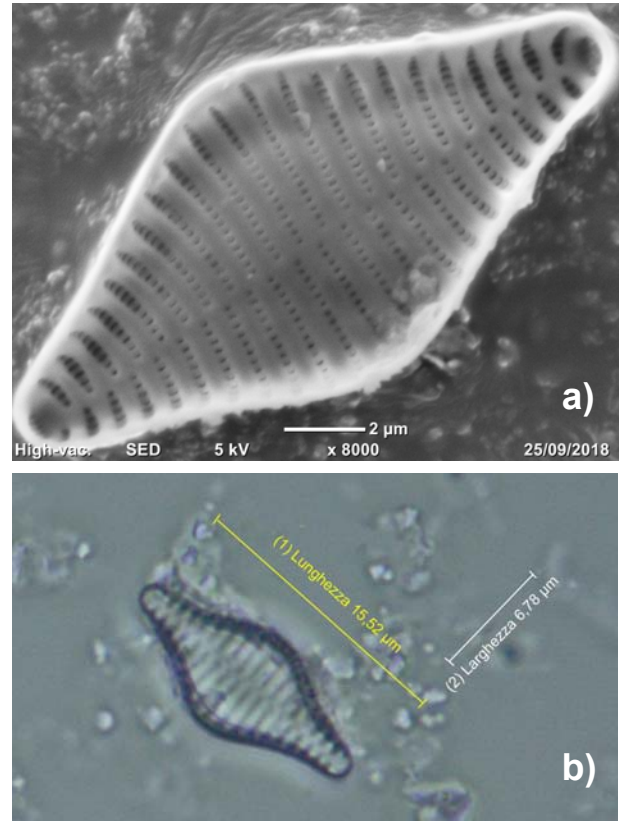


Fig. 5. Foto di *Staurosira grigorszkyi*, una delle specie più abbondanti. **a)** al Microscopio Elettronico a Scansione – SEM (8000 ingrandimenti); **b)** al microscopio ottico (100x ingrandimenti ad immersione).

Tab. VII. Valori soglia aggiornati per la classificazione dei laghi italiani basata sull'applicazione dell'Indice EPI-L. H: High; G: Good; M: Moderate; P: Poor; B: Bad. (modificato da Kelly *et al.*, 2014).

Boundary	EPI-L		National EQR
	deep	shallow	
Reference	2,27	2,46	
H/G	1,70	1,85	0,750
G/M	1,14	1,23	0,500
M/P	0,57	0,62	0,250
P/B	0,11	0,12	0,050

Tab. VI. Risultati ottenuti tramite applicazione dell'Indice EPI-L.

	Lago Trasimeno			
	1 Monte del Lago	2 Tuoro	3 Castiglione del Lago	4 Panicarola
EPI-L	0,832	0,993	0,970	1,122
RQE	0,338	0,404	0,394	0,456
RQE Medio	0,398	0,398	0,398	0,398
Classificazione	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente
% abbondanza specie utilizzate per il calcolo	79,40	66,67	62,62	60,55

necessità di un'alta percentuale di ossigeno da parte di questa diatomea per la sua riproduzione ottimale. Specie tipica di habitat eutrofici di acqua dolce con contenuto medio di elettroliti. Tollera comunque condizioni da oligo- a eutrofico; vive in habitat sia degradati sia indisturbati. Rara negli ambienti di acque correnti, presente particolarmente in fiumi di grandi dimensioni. Può tollerare livelli di β - α -mesosaprobietà. È stata ritrovata frequentemente in Europa centrale e in particolare in Germania, principalmente in ambienti lentici di acque dolci delle Alpi e delle zone pianeggianti del nord Europa (Cantonati *et al.*, 2017).

Epithemia sores è anch'essa una specie oligoalobia (indifferente) e alcalifila. Il suo pH ottimale è superiore ad 8, probabilmente tra 8,3 e 8,5. Sembra tollerare condizioni di eutrofismo, viene definita meso-saprobica con indice saprobico di 2,0. Nel lago Trasimeno era ben rappresentata soprattutto nella zona litoranea (Granetti, 1984). Preferisce habitat di acque lentiche su substrati carbonatici con livelli trofici medio-alti. Specie preferenzialmente epifitica e molto rara negli ambienti di acque correnti. In Europa centrale è la specie più frequente del genere *Epithemia* insieme alla specie *E. adnata*, presente in tutte le eco-regioni (Schaumburg *et al.*, 2004), particolarmente nei laghi di pianura dove può localmente essere una delle specie più abbondanti negli assemblaggi di diatomee (Cantonati *et al.*, 2017).

Mastogloia smithii è invece una specie mesoalobia e alcalifila, non è una specie propriamente di acqua dolce. È largamente diffusa nel lago Trasimeno e si presenta alquanto polimorfa (Granetti, 1984). Questa specie tollera concentrazioni medio-alte di elettroliti ed è presente in acque generalmente ricche di nutrienti (Cantonati *et al.*, 2017).

Staurosira grigorszkyi è una specie recentemente descritta (Ács *et al.*, 2009) in passato identificata come *Fragilaria hungarica* Pantocsek, ritrovata per la prima volta nel lago Balaton, con caratteristiche relative al pH e alla concentrazione di fosforo totale simili al lago Trasimeno, ad eccezione della conducibilità che risulta invece inferiore (Ács *et al.*, 2009).

Pseudostaurosira brevistriata è una specie tipicamente di acqua dolce, capace di sopravvivere a leggere variazioni di pressione osmotica. È anch'essa una specie oligoalobia (indifferente) considerata alcalifila, che trova le sue condizioni ottimali in genere in acque leggermente alcaline con pH di 7,5-7,8, oligotrofiche e con alta concentrazione di ossigeno. Era poco rappresentata nel lago Trasimeno nello studio di Granetti (1984). Comune nelle acque di laghi e fiumi ricche di calcio (Cantonati *et al.*, 2017). Ha un'elevata tolleranza di trofia, in ambienti da oligo- a eutrofi. Generalmente, questa specie tollera la presenza di elettroliti nelle acque, e si può ritrovare anche in acque salmastre ma non è mai stata registrata in habitat acidi e poveri di elettroliti. In

Italia, questa specie è risultata molto abbondante in ecosistemi acquatici lentici del centro Italia con una elevata conducibilità e molto disturbati dagli impatti antropici, come alterazioni dell'uso del suolo circostante e utilizzo delle acque a scopo irriguo in ambienti agricoli (Della Bella e Mancini, 2009). È necessario sottolineare che, dal punto di vista sistematico, in realtà con questo taxon ci si riferisce a un gruppo eterogeno di specie che non è stato ancora adeguatamente trattato tassonomicamente (Cantonati *et al.*, 2017).

Durante la presente indagine è stata inoltre confermata la presenza della specie esotica *Reimeria uniseriata* (Coste e Ector, 2000), già rinvenuta precedentemente nel lago (Di Brizio *et al.*, 2014). È una specie con un ampio spettro ecologico rispetto al contenuto di nutrienti e sostanza organica. La sua forma di crescita è solitaria e pedunculata, appartiene alla *guild* ecologica delle specie *low profile* ed è considerata una specie mobile (Falasco *et al.*, 2013). Segnalata già in Europa e in Italia, in Umbria questa specie è ormai registrata in numerosi corsi d'acqua, anche se spesso con un'abbondanza generalmente bassa, tranne che nel fiume Paglia, dove ha raggiunto abbondanze eccezionalmente elevate (Elia *et al.*, 2019).

Per quanto riguarda la valutazione dello stato trofico basato sugli assemblaggi di diatomee bentoniche del lago Trasimeno, l'applicazione dell'indice EPI-L sui campioni epilittici ha permesso di classificarlo in una classe "sufficiente". Tale risultato è in linea e supporta la classificazione effettuata da ARPA UMBRIA basata sulle diatomee bentoniche nel 2012 (Di Brizio *et al.*, 2014) e nel triennio di monitoraggio 2015-2017 (Cingolani e Charavgis, 2018) utilizzando i dati quali-quantitativi relativi alla comunità fitoplanctonica. Molte specie di diatomee registrate nel lago durante il presente studio non sono attualmente incluse nella lista di riferimento del metodo e quindi potrebbero andare ad integrare la lista delle specie utilizzate per l'applicazione dell'Indice EPI-L. Questo studio quindi vuole contribuire alla fase in corso di implementazione dell'Indice a livello nazionale, con l'ampliamento della lista di riferimento delle specie di diatomee lacustri italiane, a cui stanno collaborando alcune Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA) con il coordinamento del CNR e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM).

CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso la conoscenza in modo specifico delle comunità diatomiche bentoniche lacustri presenti nel lago Trasimeno. Sono state identificate in totale 85 specie diatomiche, appartenenti a 26 generi (riconosciute attraverso l'analisi di 2022 valve di diatomee). Sono state identificate e presentate le specie più ricorrenti e abbondanti (*Encyonema caespitosum*, *Epi-*

themia sorex, *Staurosira grigorszkyi*, *Mastogloia smithii*, *Pseudostaurosira brevistriata*) nelle 5 stazioni studiate. In generale le comunità lacustri appaiono diversificate e riescono a caratterizzare l'ambiente studiato. Le comunità sono composte da alcune specie tipiche di acque salmastre e con un pH leggermente alcalino superiore ad 8. Questo risultato ci permette di affermare che nelle stazioni campionate è presente un'elevata biodiversità in termini di specie e che la maggior parte di esse sono tipiche di ambienti alcalini e con elevata conducibilità a conferma del processo di salinizzazione in atto nel lago.

È stata inoltre confermata la presenza della specie esotica *Reimeria uniseriata*.

Per quanto riguarda la valutazione del grado trofico del lago Trasimeno, tramite l'applicazione dell' EPI-L, dai dati di questo lavoro, l'ecosistema lacustre è risultato appartenere alla Classe di qualità "sufficiente". Questo risultato è concorde e di supporto alla classificazione ecologica istituzionale dell'Agenzia per la Protezione Ambientale dell'Umbria (ARPA UMBRIA; Cingolani e Charavgs, 2018), basata su un giudizio associato sia alla comunità fitoplanctonica sia agli elementi chimico-fisici di base (fosforo e trasparenza). Lo studio ha infine contribuito all'implementazione della metodologia di valutazione degli ecosistemi lacustri a livello nazionale, nata dalla collaborazione tra il Sistema delle Agenzie Regionali e Provinciali di Protezione Ambientale, il CNR e il Ministero dell'Ambiente (MATTM), soprattutto per quanto riguarda l'implementazione della tabella di riferimento utilizzata per il calcolo dell'indice EPI-L (Marchetto *et al.*, 2013), in cui sono incluse molte specie di diatomee ma che è ancora in fase di aggiornamento. Come previsto nella descrizione del metodo, il calcolo

può essere effettuato solo per i campioni che superano la soglia del 70% di presenza delle specie riportate nella tabella di riferimento del metodo per il calcolo dell'indice e che costituiscono la lista delle specie italiane fino ad ora rinvenute sul territorio e per le quali è stato possibile calcolarne il peso trofico ed il valore indicatore. In questo lavoro sono state identificate alcune specie non presenti nella lista dell'indice, come ad esempio *Cymbella tumida*, *Diploneis elliptica*, *Encyonema lacustre*, *Encyonema neograticum*, *Encyonema prostratum*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria pectinalis*, *Gomphonema italicum*, *Gyrosigma acuminatum*, *Gyrosigma attenuatum*, *Navicula cryptotenelloides*, *Nitzschia filiformis*, *Placoneis elliptica*, *Staurosira grigorszkyi*, *Staurosirella pinnata*, *Tabularia fasciculata* e *Ulnaria danica*, rinvenute nello stesso lago già nel lavoro presentato da Di Brizio *et al.* (2014). Questo lavoro quindi permetterà d'implementare la lista delle specie fino ad oggi rinvenute nei laghi italiani.

Ringraziamenti

Questo lavoro è parte dell'attività di tesi di Laurea Magistrale in Scienze Biomolecolari ed Ambientali di Gaia Crisantemi. Ringraziamo i colleghi di ARPA UMBRIA, e in particolare Rosalba Padula, e Luca Galli per l'aiuto nelle fasi di campionamento, Maria Maddalena Chiappini e Mario Muzzatti della Soc. Cop. "Alzavola" e Simona, Monica e Barbara Migliorati del Camping "Punta Navaccia" per l'accesso e il supporto nei campionamenti rispettivamente all'interno dell'area protetta Oasi La Valle e alla spiaggia di Tuoro. Desideriamo ringraziare inoltre Marco Cantonati del MUSE per la conferma nell'identificazione di alcune specie di diatomee e Aldo Marchetto del CNR per l'applicazione e la discussione dei risultati dell'Indice EPI-L. Infine ringraziamo l'editore della rivista e il revisore anonimo per i suggerimenti migliorativi nella stesura della versione finale dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

- Ács E., Morales E.A., Kiss K.T., Bolla B., Plenkovic-Moraj A., Reskoné M.N., Ector L., 2009. *Staurosira grigorszkyi* nom. nov. (Bacillariophyceae) an araphid diatom from Lake Balaton, Hungary, with notes on *Fragilaria hungarica* Pantocsek. *Nova Hedwigia*, **89**: 469-483.
- Bey M.Y., Ector, 2013. *Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes*. Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes. Tome 1-6, 1182 pp.
- Buzzi F., Mancini L., Vendetti C., Puccinelli C., Marcheggiani S., Marchetto A., 2014. Protocollo di campionamento e analisi delle diatomee bentoniche dei laghi e degli invasi. In: *Metodi biologici per le acque superficiali interne*. Manuali e Linee Guida 111/2014. ISPRA, Roma, 234 pp. ISBN 978-88-448-0651.
- Cantonati M., Kelly G., Lange-Bertalot H. (a cura di), 2017. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe*. Koeltz Botanical Books, 942 pp.
- Cingolani A., Charavgis F., 2018. *Valutazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici lacustri (2015-2017)*. ARPA UMBRIA, 25 pp.
- Commissione Europea, 2000. *Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*. *Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee L 327 del 22.12.2000*.
- Coste M., Ector L., 2000. Diatomées invasives exotiques ou rares en France: principales observations effectuées au cours des dernières décennies. *Syst. Geogr. Pl.*, **73**: 373-400.
- Decreto 8 novembre 2010, n. 260 "Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. G.U. del 7 febbraio 2011".
- Della Bella V. (a cura di), 2019. *Caratterizzazione e diffusione delle specie aliene acquatiche e di ambienti umidi in Umbria*. ARPA UMBRIA, Perugia, 290 pp.
- Della Bella V., Mancini L., 2009. Freshwater diatom and mac-

- roinvertebrate diversity of coastal permanent ponds along a gradient of human impact in a Mediterranean eco-region. *Hydrobiologia*, **634**: 25-41.
- Della Bella V., Puccinelli C., Mancini L., 2006. Diatomee. In: Battisti C. (Ed), *Biodiversità, gestione, conservazione di un'area umida del litorale laziale: la Palude di Torre Flavia*. Provincia di Roma, Gangemi, 302 pp.
- Della Bella V., Marcheggiani S., Puccinelli C., Mancini L., 2007. Benthic diatom communities and their relationship to water variables in wetlands of central Italy. *Ann. Limnol.-Int. J. Limn.*, **43**: 89-99.
- Di Brizio M., Padula R., Della Bella V., Crescentini I., Galli L., Bracchi S., Rinaldi E., 2014. First application of the epiphytic and epilithic diatoms index (EPI-L) for the evaluation of lake ecological quality in Italy: a case study from Umbria (central Italy). *15th World Lake Congress*. Perugia 1-5 settembre 2014.
- Elia A.C., Todini C., Dörr A.J.M., Magara G., Ludovisi A., Della Bella V., 2019. Le microalghe esotiche negli ecosistemi acquatici umbri. In: Della Bella V. (a cura di). *Caratterizzazione e diffusione delle specie aliene acquatiche e di ambienti umidi in Umbria*. ARPA UMBRIA, Perugia, 290 pp.
- Falasco E., Piano E., Bona F., 2013. Guida al riconoscimento e all'ecologia delle principali diatomee fluviali dell'Italia nord occidentale. *Biologia ambientale*, **27** (1), 292 pp.
- Giovanardi F., Poletti A., Micheli A., 1995. Indagine sulla qualità delle acque del lago Trasimeno. Definizione dei livelli trofici. *Acqua Aria*, **6**: 627-633.
- Granetti B., 1984. Le diatomee del Lago Trasimeno: sistematica ed ecologia. *Riv. di Idrobiologia*, 1-112 pp.
- Hofmann G., Werum M., Lange-Bertalot H., 2011. *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. Koeltz Scientific Books, Königstein, 908 pp.
- Kelly M., Urbanic G., Acs E., Bennion H., Bertrin V., Burgess A., Denys L., Gottschalk S., Kahlert M., Karjalainen S. M., Kennedy B., Kosi G., Marchetto A., Morin S., Picinska-FałTynowicz J., Poikane S., Rosebery J., Schoenfelder I., Schoenfelder J., Varbiro G., 2014. Comparing aspirations: intercalibration of ecological status concepts across European lakes for littoral diatoms. *Hydrobiologia*, **734**: 125-141.
- Krammer K., Lange-Bertalot H., 1986. Bacillariophyceae. 1 Teil. Naviculaceae. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1* (Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D., editors), G. Fischer Verlag, Stuttgart, 876 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H., 1988. Bacillariophyceae 2 Teil. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2* (Ettl H., Gerloff J., Heynig, H. & Mollenhauer D., editors), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991a. Bacillariophyceae 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3* (Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D., editors), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991b. Bacillariophyceae 4 Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4* (Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D., editors), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H., 2000. *Bacillariophyceae 5 Teil: English and French translation of the keys*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 311 pp.
- Lange-Bertalot H., 2001. *Navicula sensu stricto. 10 genera separated from Navicula sensu lato. Frustulia*. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Vaduz, 526 pp.
- Ludovisi A., Gaino E., Bellezza M., Casadei S., 2014. Impatto dei cambiamenti climatici sul lago Trasimeno: tratti storici e prospettive future. *Biologia Ambientale*, **28** (2): 33-40.
- Ludovisi A., Gaino E., Bellezza M., Casadei S., 2013. Impact of climate change on the hydrology of the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): history, forecasting and management. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, **16**: 190-197.
- Marchetto A., Agostinelli C., Alber R., Beghi A., Balsamo S., Bracchi S., Buzzi F., Carena E., Cavalieri S., Cimoli F., Costaross S., Crescentini I., Della Bella V., Di Brizio M., Fioravanti M., Fogliati P., Formenti R., Galbiati M., Galimberti F., Macor A., Mancini L., Marcheggiani S., Marchi G., Musazzi S., Nicola A., Padula R., Pozzi S., Puccinelli C., Rinaldi E., Rustighi C., Testa P., Thaler B., Vendetti C., Zorza R., 2013. *Indice per la valutazione della qualità delle acque lacustri italiane a partire dalle diatomee epifitiche ed epilithiche (EPI-L)*. Report CNR-ISE 02.13: 75-92.
- Martinelli A. (ed.), 2011. *Tutela ambientale del Lago Trasimeno*. Libri Arpa, Perugia, 403 pp.
- Schaumburg J., Schranz C., Hofmann G., Stelzer D., Schneider S., Schmedtje U., 2004. Macrophytes and phytobenthos as indicators of ecological status in German lakes: a contribution to the implementation of the Water Framework Directive. *Limnologia*, **34** (4): 302-331.
- Stauber J.L., Jeffrey S.W., 1988. Photosynthetic pigments in fifty-one species of marine diatoms. *Journal of Phycology*, **24** (2) 158-172.
- Szulc B., Szulc K., 2013. The use of the Biological Diatom Index (BDI) for the assessment of water quality in the Pilica River, Poland, *Oceanological and Hydrobiological Studies International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, **42** (2): 188-194.