

Utilizzo del fitoplancton per la valutazione della qualità ambientale della Laguna di Cabras (Sardegna occidentale, Italia)

Anna Maria Bazzoni^{1,2*}, Silvia Pulina¹, Bachisio Mario Padedda¹,
Fabrizio Bernardi Aubry³, Antonella Lugliè¹, Nicola Sechi¹, Giorgio Socal³, Chiara Facca⁴

1 Università di Sassari, Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio, Via Piandanna 4 – 07100 SASSARI

2 La Maricoltura Alghero s.r.l., Via Orsera 30 – 07040 FERTILIA (SS)

3 ISMAR-CNR, Castello 1364/A, Riva Sette Martiri – 30122 VENEZIA

4 Università Ca' Foscari, Dip. di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica, Dorsoduro 2137 – 30121 VENEZIA

* Referente per la corrispondenza: bazzoniam@uniss.it

Riassunto

I dati di abbondanza e composizione fitoplanctonica e di clorofilla *a* della Laguna di Cabras (Sardegna occidentale), raccolti con cadenza da quindicinale a mensile dal 1999 al 2009 in tre stazioni collocate lungo un gradiente salino, sono stati utilizzati per valutare la qualità ambientale attraverso l'applicazione di un indice multimetrico sviluppato da FACCA *et al.* (2011). I risultati hanno indicato una condizione della laguna complessivamente scadente (*poor*), principalmente dovuta ad un importante arricchimento in nutrienti, e hanno inoltre evidenziato che non esistono significative differenze tra le stazioni considerate.

PAROLE CHIAVE: Fitoplancton / Laguna di Cabras / Indici di Qualità Ecologica

Use of phytoplankton for environmental quality assessment of Cabras Lagoon (western Sardinia, Italy)

The multimetric index developed by FACCA *et al.* (2011) was applied to evaluate the ecological quality of the Cabras Lagoon (western Sardinia, Italy). The database was composed by data collected from 1999 to 2009, at intervals from fortnightly to monthly, on phytoplankton abundances and species composition, and chlorophyll *a* in three stations sited along a salinity gradient. The preliminary results showed an overall *poor* condition of the lagoon, mainly due to nutrient enrichment; moreover, no significant differences were noticed among stations.

KEY WORDS: Phytoplankton / Cabras Lagoon / Ecological Quality Index

INTRODUZIONE

La Direttiva Quadro sulle acque 2000/60/CE (WFD, *Water Framework Directive*) stabilisce che la valutazione della qualità ecologica dei corpi idrici venga effettuata mediante l'uso di indici numerici, ottenuti a partire da descrittori bio-

logici, calcolati come rapporto tra il valore assunto nel sito in esame e quello di un sito di riferimento (EQR, *Ecological Quality Ratio*). La WFD assume il fitoplancton come un valido indicatore dello stato qualitativo dei corpi idrici. Per le

acque interne sono stati messi a punto indici standardizzati basati sulla composizione tassonomica delle microalghe anche per il territorio italiano (per esempio MedP-TI, MARCHETTO *et al.*, 2009); al contrario, gli indici per le acque di

transizione sono ancora in fase di elaborazione e le formulazioni finora proposte sono state validate solo nelle aree in cui questi sono stati sviluppati (JØRGENSEN *et al.*, 2005; GIORDANI *et al.*, 2009). Gli ecosistemi di transizione sono ambienti altamente dinamici, caratterizzati da forte variabilità spaziotemporale in relazione agli input sia costieri che continentali; tali caratteristiche rendono molto difficile l'individuazione di strumenti specifici per la valutazione della qualità dell'ambiente (TOMÁS VIVES, 1996; McLUSKY e ELLIOTT, 2007). In questi ecosistemi, la composizione e la distribuzione del fitoplancton, su scala spaziale e temporale, mostrano dei pattern ricorrenti, spesso influenzati dalle complesse e rapide risposte alle variazioni delle condizioni ambientali, definite principalmente dalle caratteristiche intrinseche di questi ecosistemi, oltre che da fattori climatici e antropici (BROQUEIRA *et al.*, 2007).

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di valutare la qualità ecologica della Laguna di Cabras

(Sardegna centro-occidentale, Italia), applicando un indice multimetrico basato sul fitoplancton (MPI: Multimetric Phytoplankton Index) sviluppato da FACCA *et al.* (2011). L'indice è basato sul calcolo di quattro metriche (indice di dominanza di Hulbert, frequenza delle fioriture, indice di diversità di Menhinick, concentrazione di clorofilla *a*), la cui scelta è stata fatta principalmente in base all'osservazione per cui i fenomeni di dominanza, l'elevata frequenza di fioriture di specie opportuniste e la bassa diversità sono legati ad ambienti impattati. Tali relazioni sono state verificate in alcune aree di transizione italiane (dati non pubblicati) ed hanno permesso di confermare la validità dell'indice.

MATERIALI E METODI

La Laguna di Cabras (Fig. 1) è situata lungo la costa occidentale della Sardegna, nella parte settentrionale del Golfo di Oristano; con una superficie di circa 2.380 ha è l'ecosistema lagunare più grande della Sardegna e uno dei più estesi del Mediterraneo. L'area è sottoposta a diversi vincoli e provvedimenti di tutela: dal 1979 fa parte dei siti tutelati dalla Convenzione di Ramsar, ed è riconosciuta come Sito di Interesse Comunitario (SIC), Zona a Protezione Speciale (ZPS) e Important Birds Area (IBA). È inserita in uno dei siti della rete LTER-Italia, la rete di ricerche ecologiche a lungo termine italiana (sito n° 14 Ecosistemi marini della Sardegna; www.lteritalia.it).

La laguna, avendo un idrodinamismo molto limitato, può essere classificata come "choked" *sensu* KJERFVE (1989), e ha acque polialine (PADEDDA *et al.*, 2010; PULINA *et al.*, 2011). Il fitoplancton rappresenta il principale produttore primario.

Tab. I. Caratteristiche principali della Laguna di Cabras.

Superficie	23,8	km ²
Profondità media	1,6	m
Profondità massima	3	m
Volume	3,8x10 ⁷	m ³
Area bacino idrogr.	459	km ²
Volume in ingresso	7,2x10 ⁷	m ³ a ⁻¹
Salinità media	19,96	psu

Le caratteristiche principali della Laguna di Cabras sono riassunte nella tabella I.

I dati utilizzati sono stati raccolti in campagne di indagine svolte dal 1999 al 2009 con cadenza da quindicinale a mensile, per un totale di 279 campioni. I dati si riferiscono a tre stazioni collocate lungo un gradiente salino (Fig. 1): dalla bocca a mare (st.1) al principale immissario di acqua dolce (st.3). Per ogni campione sono stati considerati i dati di abbondanza e composizione fitoplanctonica (ottenuti con il metodo di UTERMÖHL, 1958), la concentrazione di clorofilla *a* (SCOR-UNESCO, 1997), i nutrienti (fosforo reattivo, silice reattiva, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e sommatoria dei composti inorganici azotati, tutti analizzati secondo STRICKLAND e PARSONS, 1972) e alcuni parametri chimico-fisici (ossigeno disciolto, pH, alcalinità e salinità, misurati in campo con sonda multiparametrica). Per il calcolo del MPI sono state utilizzate le seguenti metriche:

1. indice di dominanza di Hulbert (1963):

100-H, con $H=100(n_1+n_2)/N$ dove n_1 e n_2 sono le densità cellulari delle due specie più abbondanti e N l'abbondanza totale;

2. frequenza delle fioriture:

100-F

con F uguale al numero di volte in cui una specie supera il 50% dell'abbondanza totale, calcolata come percentuale in funzione delle os-

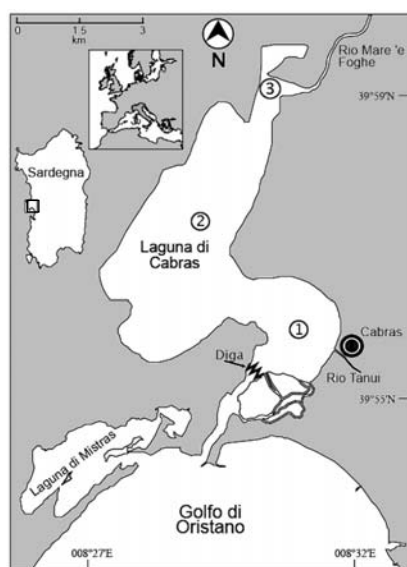


Fig. 1. Area di studio e posizionamento delle stazioni.

servazioni totali;

3. indice di diversità di Menhinick:

$$D=S/\sqrt{N}$$

dove S è il numero di specie e N l'abbondanza totale (SPATHARIS e TSIRTISIS, 2010);

4. concentrazione di clorofilla *a* con trasformazione logaritmica dei dati originali.

Per calcolare ciascuna metrica, sono state considerate solo le forme algali determinate fino alla specie (ammesso il genere sp.). I valori di ogni stazione sono stati mediati su scala annuale in modo da ridurre le fluttuazioni della stagionalità che influenzano significativamente le dinamiche fitoplanctoniche. Le metriche 1 e 3 sono state calcolate per ogni singola osservazione, mentre la metrica 2 è stata calcolata come percentuale rispetto a tutte le osservazioni annuali disponibili.

In base ai dati ottenuti e alle osservazioni effettuate in altre aree di transizione italiane (FACCA *et al.*, 2011) è stato calcolato il rapporto (EQR - *Ecological Quality Ratio*) tra le metriche di un'area di riferimento, scelta in base ad uno stato ecologico elevato, e quelle della Laguna di Cabras, in modo da stabilire la relativa classe ecologica di appartenenza. L'EQR, così calcolato,

varia tra 0 e 1. Per stabilire la classe di appartenenza tra le 5 indicate dalla WFD, sono stati individuati degli intervalli equiripartiti: 0,0-0,20 *bad* (cattiva); 0,21-0,40 *poor* (scarsa); 0,41-0,60 *moderate* (modesta); 0,61-0,80 *good* (buona); 0,81-1 *high* (elevata).

Infine, con i dati fitoplanctonici disponibili, è stato effettuato il test di randomizzazione e permutazione a una via (ANOSIM), basato sull'indice di Bray-Curtis (CLARKE e WARWICK, 1994), per verificare l'esistenza di differenze significative tra le tre stazioni considerate.

RISULTATI

Il dataset ottenuto dall'analisi del fitoplancton è risultato piuttosto omogeneo, con la maggior parte dei *taxa* classificati almeno fino al genere; soltanto in alcuni casi sono stati segnalati organismi indeterminati, per lo più di ridotte dimensioni (nanoplancton), che sono stati esclusi dai calcoli degli indici. Complessivamente, sono stati individuati 101 *taxa*, di cui 37 classificati fino alla specie.

I calcoli per la metrica 1 (Tab. II) hanno indicato il valore più basso per la st.1 (5,22) e il più alto per la st.3 (8,68). Facendo riferimento ai rapporti di qualità ecologica (Fig. 2a), è risultato che la

stazione più vicina al mare ha una qualità peggiore (*bad*) delle altre due (*poor*).

I valori della metrica 2 (Tab. II) hanno variato tra 11,31 (st.2) e 18,96 (st.3); i calcoli dell'EQR hanno mostrato una situazione omogenea nelle tre stazioni, indicando una generale condizione *poor* (Fig. 2b). Le specie maggiormente responsabili delle fioriture appartengono alla classe delle Cyanophyceae, diventate particolarmente importanti negli ultimi anni (PULINA *et al.*, 2011).

La metrica 3 (Tab. II) ha variato poco all'interno della laguna, tra 0,0013 (st.1) e 0,0016 (st.3); il rapporto con i valori di riferimento (Fig. 2c) ha evidenziato una condizione *bad* in tutte e tre le stazioni.

I dati relativi alla clorofilla *a* hanno indicato una condizione *poor* per tutta la laguna (Fig. 2d), con il valore della metrica (Tab. II) uguale nelle stazioni 1 e 2 (1,64) e più elevato nella stazione 3 (1,71).

Il MPI ha evidenziato una condizione ambientale *bad* per le stazioni 1 e 2 e *poor* per la stazione 3 (Fig. 2e; Tab. II).

La media tra le quattro metriche utilizzate, che determina la condizione complessiva per la laguna, ha indicato una condizione

Tab. II. Valori delle metriche per ogni stazione e classificazione di qualità della Laguna di Cabras.

		100-Hulburt	100-Frequency	Menhinick	log Chl <i>a</i>	MPI
St.1	Metrica	5,22	13,13	0,0013	1,64	5,00
	EQR	0,17	0,26	0,11	0,22	0,19
	Classificazione	bad	poor	bad	poor	bad
St.2	Metrica	6,37	11,31	0,0014	1,64	4,83
	EQR	0,21	0,23	0,13	0,22	0,19
	Classificazione	poor	poor	bad	poor	bad
St.3	Metrica	8,68	18,96	0,0016	1,71	7,34
	EQR	0,28	0,38	0,14	0,21	0,25
	Classificazione	poor	poor	bad	poor	poor
	MEDIA EQR	0,22 (poor)	0,29 (poor)	0,13 (bad)	0,21 (poor)	0,21 (poor)

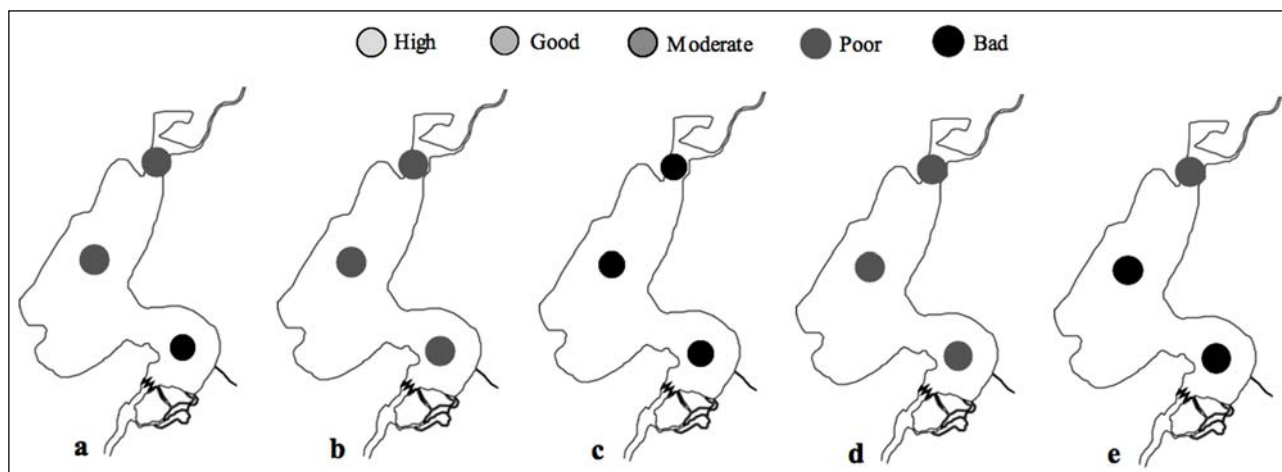


Fig. 2. Qualità ambientale della Laguna di Cabras calcolata in base a: Indice di Hulbert (a); Frequenza delle fioriture (b); Indice di Menhinick (c); Concentrazione di clorofilla *a* (d); MPI (e).

poor, con un valore (0,21) che è al limite tra le classi di qualità *poor* e *bad*.

Il test ANOSIM ha evidenziato differenze non significative tra le tre stazioni ($R=-0,005$; $p=0,785$).

DISCUSSIONE

In questo lavoro, le metriche utilizzate hanno confermato, per la Laguna di Cabras, la qualità complessivamente scadente e la notevole omogeneità spaziale delle condizioni ambientali (PADEDDA *et al.*, 2010). Soltanto la metrica 1 ha dato risultati diversi nelle tre stazioni, individuando nella stazione situata in prossimità della bocca a mare (st.1) quella con il peggior grado di qualità ecologica (*bad*), rispetto ad una condizione

comunque problematica delle altre due (*poor*). La comunicazione con il mare, molto difficoltosa, consentita solo attraverso quattro stretti canali (Fig. 1), probabilmente ha una notevole influenza sulla cattiva qualità della st.1, sebbene le cause dello stato generale scadente della laguna vadano ricercate nell'eccessivo carico di nutrienti che vi giunge dal bacino imbrifero (PADEDDA *et al.*, 2010; PULINA *et al.*, in stampa). Questo è confermato dai valori dei composti inorganici dell'azoto, del fosforo e della silice reattiva, sempre molto elevati durante tutto il periodo di indagine (Tab. III).

Tra le quattro metriche utilizzate, la metrica 3 è stata quella che ha indicato la peggiore condi-

zione lagunare (*bad*) in tutte e tre le stazioni. Gli studi effettuati sul fitoplancton della Laguna di Cabras hanno indicato la presenza di poche specie algali in tutte e tre le stazioni e densità cellulari sempre molto elevate (densità totale media mensile sempre superiore a 10^7 cell L^{-1}) (PULINA *et al.*, in stampa). In particolare, si è osservata una chiara affermazione delle Bacillariophyceae *Cyclotella atomus* Hust. e *Skeletonema potamos* (C.I. Weber) Hasle dal 1999 fino alla fine del 2000, e una netta dominanza delle Cyanophyceae, dal 2001 fino all'estate del 2002 con la specie *Rhabdoderma cf. rubrum* (Álvik) Komárek et Anagnostidis, e dal 2007 al 2009 con il genere *Cyanobium*.

Tab. III. Valori medi annuali dei parametri ambientali della Laguna di Cabras. Sal: salinità (psu); OD: ossigeno disciolto (%); Alc: alcalinità ($meq L^{-1}$); NH_3 : azoto ammoniacale ($mmol N L^{-1}$); NO_3 : azoto nitrico ($mmol N L^{-1}$); NO_2 : azoto nitroso ($mmol N L^{-1}$); PR: fosforo reattivo ($mmol P L^{-1}$); PT: fosforo totale ($mmol P L^{-1}$); SiR: silice reattiva ($mmol Si L^{-1}$).

	Sal	OD	pH	Alc	NH_3	NO_3	NO_2	PR	PT	SiR
1999	29,25	71	8,53	2,87	167,54	1,74	2,61	2,71	7,09	116,58
2000	29,89	108	8,62	2,76	4,60	2,83	0,48	1,80	10,79	265,01
2001	15,54	117	8,75	2,69	3,33	3,27	0,61	0,87	8,65	243,21
2002	24,04	102	8,71	2,75	4,91	2,55	0,64	1,16	11,00	180,28
2007	16,51	85	8,32	2,92	2,09	1,42	0,37	0,65	5,90	246,95
2008	20,12	87	8,26	2,51	2,83	8,80	0,69	0,68	5,80	154,77
2009	4,40	101	8,83	2,59	4,04	10,13	1,05	1,12	8,11	160,39

CONCLUSIONI

L'indice MPI, basato sul fitoplancton, usato per la valutazione della qualità ambientale in ecosistemi di transizione ha confermato, anche nel caso nella Laguna di Cabras, il vantaggio di essere facilmente calcolabile, mostrandosi un utile strumento sintetico: il quadro ottenuto concorda bene con le valutazioni derivanti dall'applicazione di altre metodiche (PADEDDA *et al.*, 2010; PULINA *et al.*, in stampa). Il presupposto di base è però che i dati siano caratterizzati da un elevato livello di definizione tassonomica; questo implica la necessità, da una parte,

di una robusta esperienza degli operatori nell'identificazione tassonomica delle specie, e dall'altra di un ulteriore sforzo nel processo d'intercalibrazione, sia in ambito nazionale che internazionale.

I risultati ottenuti sono perciò da considerarsi preliminari e necessitano di ulteriori approfondimenti anche alla luce del fatto che il recepimento dell'indice, l'individuazione dei valori che separano ciascuna classe di qualità, la definizione delle tipologie e l'intercalibrazione con gli altri Stati Membri sono attualmente ancora in fase di definizione.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è stato realizzato grazie al sostegno della RAS ricevuto attraverso una Borsa di Ricerca cofinanziata con fondi a valere sul PO Sardegna FSE 2007-2013 sulla L.R.7/2007 "Promozione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica in Sardegna". Parte di questa ricerca è stata finanziata nell'ambito delle attività del Centro di Competenza Biodiversità Marina (Com.Bio.Ma.; <http://www.combioma.com>). Si ringraziano tutti i colleghi del Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio dell'Università di Sassari che negli anni, a diverso titolo, hanno collaborato alla raccolta dei dati del database utilizzato.

BIBLIOGRAFIA

- BROGUEIRA M.J., OLIVEIRA M.R., CABEÇADAS G., 2007. Phytoplankton community structure defined by key environmental variables in Tagus estuary, Portugal. *Marine Environmental Research*, **64**: 616-628.
- CLARKE K. R., WARWICK R. M., 1994. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Bourne Press Ltd., Bournemouth.
- FACCA C., SOCAL G., BERNARDI AUBRY F., SFRISO A., ACRI F., BIANCHI F., PONIS E., 2011. Il fitoplancton come elemento di qualità biologica ai fini dell'implementazione della Water Framework Directive (WFD, CE 2000/60) per le acque di transizione. *Biologia Marina Mediterranea*, **18** (1): 372-373.
- GIORDANI A., ZALDI'VAR J.M., VIAROLI P., 2009. Simple tools for assessing water quality and trophic status in transitional water ecosystems. *Ecological Indicators*, **9**: 982-991.
- HULBERT E.M., 1963. The diversity of phytoplankton population in oceanic, coastal and estuarine regions. *Journal of Marine Research*, **21**: 81-93.
- JØRGENSEN S.E., CONSTANZA R., XU F.L., 2005. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. CRC Press, Boca Raton, FL, 439 p.
- KJERFVE B., MAGILL K., 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology*, **88**: 187-199.
- McLUSKY D.S., ELLIOTT M., 2007. Transitional waters: a new approach, semantics or just muddying the waters? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **71**: 359-363.
- MARCHETTO A., PADEDDA B.M., MARIANI M.A., LUGLIÉ A., SECHI N., 2009. A numerical index for evaluating phytoplankton response to changes in nutrient levels in deep Mediterranean reservoirs. *Journal of Limnology*, **68** (1): 106-121.
- PADEDDA B.M., LUGLIÉ A., CECCHERELLI G., TREBINI F., SECHI N., 2010. Nutrient-flux evaluation by the LOICZ Biogeochemical Model in Mediterranean lagoons: the case of Cabras Lagoon (Central-Western Sardinia). *Chemistry and Ecology*, **26** (2): 147-162.
- PULINA S., PADEDDA B.M., SECHI N., LUGLIÉ A., 2011. The dominance of cyanobacteria in Mediterranean hyper-eutrophic lagoons: a case study of Cabras Lagoon (Sardinia, Italy). *Scientia Marina*, **75** (1): 111-120.
- PULINA S., PADEDDA B.M., SAIJA C.T., SECHI N., LUGLIÉ A., in stampa. Long-term phytoplankton dynamics in a Mediterranean eutrophic lagoon (Cabras Lagoon, Italy). *Plant Biosystems*.
- SCOR-UNESCO, 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C., Wright S.W. (eds.). UNESCO Publishing. 661 p.
- SPATHARIS S., TSIRTIS G., 2010. Ecological quality scales based on phytoplankton for the implementation of Water Framework Directive in the Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, **10**: 840-847.
- STRICKLAND J.D.H., PARSON T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Ed. Fisheries Research board of Canada.
- TOMÁS VIVES P., 1996. *Monitoring Mediterranean wetlands. A methodological guide*. MedWet publication; Wetlands International; Slimbridge, UK and Icn, Lisbon. 150 p.
- UTERMÖHL H., 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytolankton-methodik. *Mitteilungen Internationale Vereins Theoretisch Angewiesenen Limnologie*, **9**: 1-39.