

Applicazione di indici di qualità ambientale basati sulle microalghe in ecosistemi acquatici mediterranei di acque dolci e di transizione (Sardegna, Italia)

Anna Maria Bazzoni^{1,*}, Giuseppina Grazia Lai², Maria Antonietta Mariani², Chiara Facca³, Bachisio Mario Padedda², Nicola Sechi², Antonella Lugliè²

1 Ist. Zooprofilattico Sperimentale della Sardegna, Dip. di Sicurezza Alimentare, Via Duca degli Abruzzi 8 – 07100 Sassari

2 Univ. degli Studi di Sassari, Dip. di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4 – 07100 Sassari

3 Univ. Ca' Foscari Venezia, Dip. di Scienze Ambientali Informatica e Statistica (DAIS), Via Torino 155 – 30172 VE-Mestre

* Referente per la corrispondenza: bazzoni.annamaria@tiscali.it

Pervenuto il 24.2.2017; accettato il 30.5.2017

Riassunto

La Direttiva Europea Quadro sulle Acque (WFD, 2000/60/CE) stabilisce il raggiungimento di uno stato ecologico buono in tutti i corpi idrici superficiali (acque interne, di transizione e marino-costiere) al più tardi entro il 2027, indicando l'uso di indici basati sulle diverse comunità biologiche nelle procedure per la valutazione dello stato ecologico. In questo lavoro viene riportata una sintesi delle esperienze finora maturate in Sardegna nello sviluppo e nella sperimentazione di indici basati sul fitoplancton (Mediterranean Phytoplankton Trophic Index, MedPTI; Multimetric Phytoplankton Index, MPI) e sulle diatomee bentoniche (Indice di Eutrofizzazione e/o Polluzione basato sulle Diatomee, EPI-D; Indice *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella*, NNS') in diverse tipologie di ecosistemi acquatici (laghi artificiali, lagune e corsi d'acqua). I risultati ottenuti hanno dimostrato l'importanza della disponibilità di dati ecologici su lunghe scale temporali per lo sviluppo e la validazione degli indici. Inoltre, la loro applicazione, pur confermandone l'affidabilità nella valutazione dello stato di qualità dei corpi idrici indagati, ha evidenziato la necessità di specifici adattamenti su scala spaziale e temporale, come riportato anche in altre regioni italiane. La Sardegna presenta caratteristiche climatiche e idrodinamiche peculiari legate all'insularità, e condizioni ambientali per le quali si rendono necessarie liste tassonomiche specifiche. La segnalazione di specie precedentemente non rinvenute e i cambiamenti dell'importanza relativa delle diverse specie nel tempo, suggeriscono la necessità di un costante aggiornamento delle liste tassonomiche. Nell'ambito dell'applicazione della Direttiva sarebbe auspicabile il continuo aggiornamento degli operatori e una maggiore collaborazione tra istituzioni scientifiche, Enti e Agenzie Regionali.

PAROLE CHIAVE: Fitoplancton / Diatomee bentoniche / Indici biologici / Sardegna / Direttiva 2000/60/CE

Application of microalgae-based indices in Mediterranean freshwater and transitional aquatic ecosystems (Sardinia, Italy)

The Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC) establishes a framework for the policy of surface waters (including inland, transitional and marine coastal ecosystems), with the objective of achieving a good environmental status for all waters at the latest by 2027. The procedure described by WFD to achieve the objective includes the use of indices based on Biological Quality Elements to assess the environmental status of aquatic ecosystems. The aim of this paper is to report an overview of the experience matured in Sardinia (Italy, Western Mediterranean Sea) in developing and testing phytoplankton-based (Mediterranean Phytoplankton Trophic Index, MedPTI; Multimetric Phytoplankton Index, MPI) and benthic diatoms-based (Eutrophication/Pollution Index-Diatom based, EPI-D; *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella* Index, NNS') indices in different categories of aquatic ecosystems (reservoirs, lagoons, watercourses). The results showed the importance of the availability of ecological data collected over long time scales for development and validation of biotic indices and the need for specific adaptations to the spatial and temporal scales. Sardinia presents peculiar climatic and hydrodynamic characteristics linked to insularity, and environmental conditions that require specific taxonomic lists. The reporting of species not previously found and the change of their relative importance over time, suggest the need for constant updating of the taxonomic lists. For Directive application, it would be necessary a continuous updating of the technical staff and a closer cooperation between scientific institutions, authorities and Regional Agencies.

KEY WORDS: Phytoplankton / Benthic diatoms / Biotic indices / Sardinia / Water Framework Directive 2000/60/EC

INTRODUZIONE

La Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (WFD, *Water Framework Directive*) attribuisce un'importanza prioritaria all'uso delle componenti biologiche (inclusi fitoplancton e fitobenthos) per la valutazione dello stato ecologico degli ecosistemi acquatici. Il presente lavoro riassume l'esperienza maturata in Sardegna (Fig. 1) per lo sviluppo, la validazione e l'applicazione di indici biologici basati sulle comunità microalgali

(composizione in specie e abbondanza). La Sardegna appartiene all'Ecoregione Mediterranea (Ecoregione 6 per le acque di transizione ed Ecoregione 3 per i corsi d'acqua e i laghi, insieme a Malta e alla Corsica). È stata considerata come un'unica Idro Ecoregione (HER 21) tra le ventuno indicate per il territorio italiano (Decreto Ministeriale 131/2008) e come un unico Distretto Idrografico tra gli otto riportati per il territorio italiano (Regione Autonoma della Sardegna, Piano regionale di gestione del distretto idrografico, allegato 2, 2015).

I dati raccolti grazie a studi ecologici svolti su scala pluriennale in diversi laghi artificiali e lagune, hanno permesso lo sviluppo e la successiva sperimentazione, rispettivamente, del Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (MedPTI) (Marchetto *et al.*, 2009), previsto dal Decreto Ministeriale 260/2010, e del Multimeric Phytoplankton Index (MPI) (Facca *et al.*, 2011; 2014; Bazzoni *et al.*, 2013). Alcuni studi più recenti, svolti su tredici corsi d'acqua in quattro diversi bacini idrografici della Sardegna centro settentrionale (Lai *et al.*, 2010; 2012; 2014), hanno invece permesso una prima applicazione dell'Indice di Eutrofizzazione e/o Polluzione basato sulle Diatomee (EPI-D) (Dell'Uomo, 2004) sviluppato dopo un lungo periodo di ricerche, principalmente nei corsi d'acqua dell'Appennino centrale. L'EPI-D è stato scelto in quanto, oltre ad essere l'unico indice diatamico messo a punto in Italia, è stato ampiamente applicato in ambienti fluviali di tipologia Mediterranea (Battezzore *et al.*, 2004a; Finocchiaro *et al.*, 2009; Torrisi e Dell'Uomo, 2009; Dell'Uomo e Torrisi, 2011). Questo indice è basato sull'affinità/tolleranza delle diatomee ai nutrienti, alla sostanza organica e al grado

di mineralizzazione delle acque, ed esprime un giudizio globale sullo stato di qualità di un corpo idrico. In alcune stazioni di alcuni corsi d'acqua del bacino idrografico del Rio Mannu di Porto Torres, l'EPI-D è stato confrontato con altri indici diatomici sviluppati in diversi paesi europei per la valutazione della qualità generale delle acque correnti, ed è stato inoltre applicato l'indice *Navicula, Nitzschia, Surirella* (NNS') (Battezzore *et al.*, 2004a; 2004b; 2005; 2007), per la valutazione del grado di disturbo fisico (Lai *et al.*, 2012; 2014). L'indice NNS' è basato sul principio che il numero degli individui appartenenti ai tre generi mobili *Navicula*, *Nitzschia* e *Surirella* aumenti all'interno delle comunità in seguito ad azioni di sedimentazione, erosione e risospensione di materiale fine dovute sia a cause naturali che antropiche.

CLASSIFICAZIONE DEGLI ECOSISTEMI ACQUATICI DELLA SARDEGNA

Il MedPTI è stato sviluppato, in accordo con le linee guida proposte dalla WFD, utilizzando i dati provenienti da studi svolti su circa trenta laghi artificiali della Sardegna, per una decina dei quali si disponeva anche di dati pluriennali (Marchetto *et al.*, 2009). Il MedPTI è uno strumento utile per valutare la risposta del fitoplancton, in termini di composizione in specie, ai cambiamenti nella concentrazione di nutrienti (eutrofizzazione) nei laghi artificiali profondi di tipo Mediterraneo. Alcune limitazioni nell'uso del MedPTI sono principalmente legate alla necessità di ampliare e di aggiornare l'elenco di specie proposto, utilizzare un set di dati di calibrazione più esteso e considerare le informazioni che si ottengono nel tempo da nuove indagini (Marchetto *et al.*, 2009). La definizione dell'indice

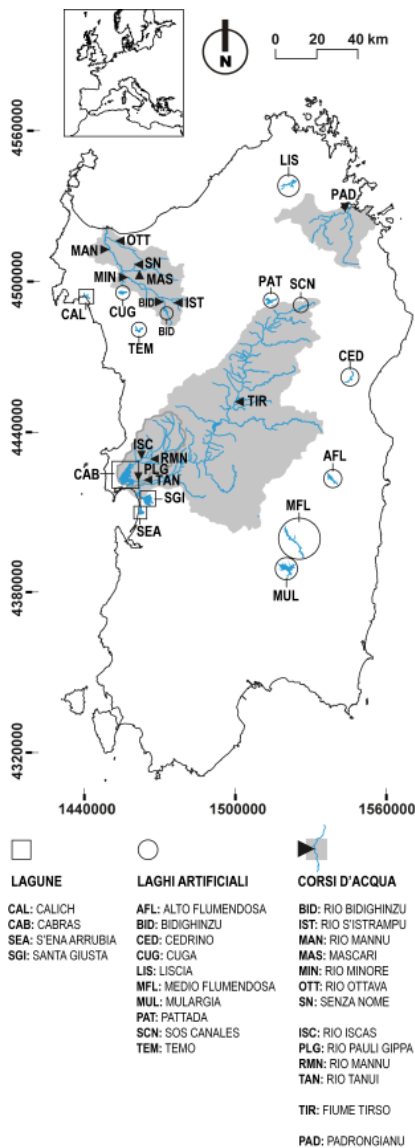


Fig. 1. Localizzazione dei casi di studio considerati.

non è e non può perciò essere considerata definitiva.

L'applicazione del MedPTI in sei casi di studio per l'anno 2006, ha evidenziato valutazioni coerenti con il relativo stato trofico valutato su base sperimentale (OECD, 1982) per i laghi Cuga (CUG, *scarso*), Pattada (PAT, *scarso*), Sos Canales (SCN, *scarso*), Temo (TEM, *modesto*) e Cedrino (CED, *mode-*

sto), mentre per il Lago Bidighinzu (BID) non è stato possibile applicare l'indice per l'assenza, nella lista di specie dell'indice MedPTI, di un taxon (nello specifico *Lagerheimia* R. Chodat) che, nell'anno considerato, ha avuto un ruolo importante nel fitoplancton lacustre (Tab. I).

L'indice multimetrico MPI, la cui formulazione si basa sulla composizione tassonomica del

fitoplancton, sulla dominanza e sulla diversità e non necessita di liste di specie sensibili/tolleranti di confronto (Facca *et al.*, 2011), è stato testato utilizzando i dati pluriennali di quattro lagune sarde (Cabras, CAB; Calich, CAL; S'Ena Arrubia, SEA; Santa Giusta, SGI) (Fig. 1). La valutazione di qualità dell'ambiente ottenuta è stata coerente con le conoscenze pregresse dei corpi idrici considerati ottenute dall'applicazione di altre metodiche (Bazzoni *et al.*, 2012; 2013), indicando una qualità *cattiva* per CAB, CAL e SEA, e *scarso* per SGI (Tab. I).

Nell'applicazione dell'indice EPI-D ai corsi d'acqua oggetto di studio non è stato possibile tener conto del contributo di alcuni taxa abbondanti in quanto non inseriti nella lista dell'indice (per esempio *Cocconeis pseudolineata* (Geitler) Lange-Bertalot e *Diademsmis confervacea* Kützing). Nella maggior parte delle stazioni fluviali dei bacini idrografici indagati, è stata riscontrata una qualità compresa tra *modesta* e *cattiva*, con la prevalenza di *modesta* (13 sezioni su 25) e l'eccezione di una valutazione *buona* (stazione 1 sul Rio Padrongianu, PAD1). In generale, i dati hanno evidenziato un deterioramento della qualità dell'acqua da monte a valle, riconducibile principalmente a reflui civili non adeguatamente depurati (Rio Mannu e Rio Padrongianu), all'impatto di attività agricole a carattere intensivo (Rio Mare Foghe), all'allevamento e a scarichi di tipo industriale (Fiume Tirso). Nel bacino del Rio Mannu, l'indice NNS' ha indicato un grado di disturbo fisico superiore al 60% soltanto nella parte più a monte del bacino idrografico (stazioni IST e BID2), interessata maggiormente da attività agricole e allevamenti e dallo sversamento delle acque dall'invaso artificiale (BID2).

Tab. I. Qualità ambientale degli ecosistemi considerati (E= Elevata; B= Buona; M= Modesta, S= Scarso; C= Cattiva).

Tipologia	Bacino	Sito	Sigla	Qualità	
Lagune		Cabras	CAB	C	
		Calich	CAL	C	
		S'Ena Arrubia	SEA	C	
		Santa Giusta	SGI	S	
Laghi artificiali		Bidighinzu	BID	-	
		Cedrino	CED	M	
		Cuga	CUG	S	
		Pattada	PAT	S	
		Sos Canales	SCN	S	
		Temo	TEM	M	
Corsi d'acqua	Rio Padrongianu	Padrongianu	PAD1	B	
		Padrongianu	PAD2	M	
		Padrongianu	PAD3	M/S	
	Fiume Tirso	Tirso	TIR1	M	
		Tirso	TIR2	M	
	Rio Mare Foghe	Iscas	ISC	S	
		Mannu	RMN	S	
		Pauli Gippa	PLG	M	
	Rio Mannu	Bidighinzu	Bidighinzu	BID1	M
			Bidighinzu	BID2	M/S
		Mannu	MAN1	M	
		Mannu	MAN2	M	
		Mannu	MAN3	M	
		Mannu	MAN4	S	
		Mannu	MAN5	M	
		Mascari	MAS1	M	
		Mascari	MAS2	S	
		Minore	MIN	M	
		Ottava	OTT	M	
	S'Istrampu	IST	M		
	Senza Nome	SN1	S		
	Senza Nome	SN2	C		
	Senza Nome	SN3	S		
	Senza Nome	SN4	M/S		

DISCUSSIONE

L'esperienza maturata in Sardegna nello sviluppo, validazione e applicazione di indici biologici per la valutazione dello stato di qualità degli ecosistemi acquatici, ha evidenziato alcune criticità:

1. la necessità di dataset corposi per la costruzione di indici biotici robusti e specifici per il contesto territoriale dell'isola, nonostante una parte dei dati utilizzati provenga da stazioni della rete italiana di ricerche ecologiche su lunga scala temporale (LTER Italia; <http://www.lteritalia.it/>). Per esempio, nonostante i dati pluriennali disponibili per i laghi LTER CUG, PAT, SCN, TEM, CED e BID abbiano contribuito alla costruzione della lista di specie del MedPTI, nel 2006 non è stata possibile la sua applicazione nel BID. Da ciò consegue l'importanza di un continuo aggiornamento e adattamento degli indici;
2. il continuo aggiornamento delle liste tassonomiche e la segnalazione di specie via via riscontrate nelle diverse tipologie di corpi idrici;
3. l'ampliamento delle banche dati e lo svolgimento di ricerche di

base dedicate su lunghi archi temporali;

4. la necessità di ampliare la casistica di studio anche a contesti interessati da minori pressioni antropiche, per comprendere la loro capacità di rilevare il buono stato;
5. la necessità di impiegare indici/metriche complementari in grado di evidenziare alterazioni nella struttura delle comunità dovute al disturbo fisico dell'ecosistema, determinato sia da cause naturali (es. variazioni stagionali della portata) che antropiche;
6. la richiesta di un elevato dettaglio tassonomico, che comporta un'esperienza notevole degli operatori e rende difficile l'uso routinario. La corretta identificazione delle specie richiede spesso l'impiego di più tecniche (es. epifluorescenza, microscopia elettronica, analisi genetiche) soprattutto per morfotipi simili e per specie di taglia molto piccola, difficilmente riconoscibili con la sola microscopia ottica. Questo implica la necessità di laboratori ben attrezzati, oltre che di una formazione continua del personale dedicato.

CONCLUSIONI

Gli indici presentati in questo studio sono tra quelli che, o già recepiti o in fase di recepimento dalla normativa nazionale (Decreto Ministeriale 2010/260, recante i criteri tecnici per la classificazione dei corpi idrici, in recepimento della WFD 2000/60EC), sono obbligatori al fine della classificazione dei corpi idrici e sono utilizzati dagli enti preposti al monitoraggio. Il presente lavoro, allo scopo di verificare l'attendibilità e la praticità delle formulazioni proposte, ha evidenziato alcune criticità, che, tuttavia, non compromettono l'affidabilità nella valutazione della qualità dei corpi idrici indagati, mostrando correlazioni significative ed inverse con le pressioni antropiche. In Sardegna, l'applicazione di indici basati sulle microalghe nella valutazione della qualità ambientale ha definito un quadro generale piuttosto scadente. Altri casi studio dovrebbero essere sviluppati ed estesi sia su scala spaziale che temporale, per approfondire le relazioni esistenti tra le comunità e i peculiari fattori ambientali locali dell'isola. Perché ciò avvenga, è auspicabile una maggiore collaborazione e una sinergia tra istituzioni scientifiche, Enti e Agenzie Regionali che operano sul territorio.

BIBLIOGRAFIA

- Battegazzore M., Gallo L., Lucadamo L., Morisi A., 2004a. Quality of the main watercourses in the Pollino National Park (Apennine Mts, S Italy) on the basis of the diatom benthic communities. *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica*, **80**: 89-93.
- Battegazzore M., Morisi A., Gallino B., Fenoglio S., 2004b. Environmental quality evaluation of alpine springs in NW Italy using benthic diatoms. *Diatom Research*, **19**: 149-165.
- Battegazzore M., Bianco L., Bona F., Falasco E., Fenoglio S., Gastaldi E., Morisi A., Shestani L., Badino G., 2007. Diatomee e qualità dei corsi d'acqua in tre aree alpine e prealpine ad altimetria e substrato geologico differenti. *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica*, **83**: 111-116.
- Battegazzore M., Fenoglio S., Gallo L., Lucadamo L., Morisi A., 2005. Esperienze di studio della qualità biologica di corsi d'acqua italiani mediante l'uso delle diatomee. *Biologia Ambientale*, **19**: 109-116.
- Bazzoni A.M., Pulina S., Padedda B.M., Bernardi Aubry F., Lugliè A., Sechi N., Socal G., Facca C., 2012. Utilizzo del fitoplancton per la valutazione della qualità ambientale

- della Laguna di Cabras (Sardegna occidentale). *Biologia Ambientale*, **26**(1): 84-88.
- Bazzoni A.M., Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Lugliè A., Sechi N., Facca C., 2013. Water quality evaluation in Mediterranean lagoons using the Multimetric Phytoplankton Index (MPI): Study cases from Sardinia. *Transitional Waters Bulletin*, **7**: 64-76.
- Dell'Uomo A., 2004. *L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee Guida*. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, Roma, 101 pp.
- Dell'Uomo A., Torrisi M., 2011. The Eutrophication Pollution-Index-Diatom based (EPI-D) and three new related indices for monitoring rivers: The case study of the river Potenza (the Marches, Italy). *Plant Biosystems*, **145**: 331-341.
- 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.
- Facca C., Bernardi Aubry F., Socal G., Ponis E., Acri F., Bianchi F., Giovanardi F., Sfriso A., 2014. Description of a Multimetric Phytoplankton Index (MPI) for the assessment of transitional waters. *Marine Pollution Bulletin*, **79**: 145-154.
- Finocchiaro M., Torrisi M., Ferlito A., 2009. Caratterizzazione delle comunità delle diatomee bentoniche del bacino idrografico del fiume Simeto (Sicilia orientale) mediante l'applicazione dell'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione (EPI-D). *Biologia Ambientale*, **23**: 53-66.
- Lai G.G., Padedda B.M., Pulina S., Viridis T., Sechi N., Lugliè A., 2010. Diatoms and quality of watercourses in north-central Sardinia. *Vie et milieu*, **60** (3): 209-216.
- Lai G.G., Padedda B.M., Viridis T., Lugliè A., Sechi N., 2012. Applicazione degli Indici Diatomici EPI-D ed NNS' nel Bacino del Rio Mannu di Porto Torres (Sardegna Nord-Occidentale). *Biologia Ambientale*, **26**: 89-95.
- Lai G.G., Padedda B.M., Viridis T., Sechi N., Lugliè A., 2014. Benthic diatoms as indicators of biological quality and physical disturbance in Mediterranean watercourses: a case study of the Rio Mannu di Porto Torres basin, north western Sardinia, Italy. *Diatom Research*, **29**: 11-26.
- Marchetto A., Padedda B.M., Mariani M.A., Lugliè A., Sechi N., 2009. A numerical index to evaluate the phytoplankton response to changes in nutrient levels in deep Mediterranean reservoirs. *Journal of Limnology*, **68**: 106-121.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, 1982. *Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control*. OECD Publications, N° 42077, Paris, 154 pp.
- Torrisi M., Dell'Uomo A., 2009. Diatomee bentoniche del corso superiore di alcuni fiumi centro-appenninici. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, **84**: 139-151.