

La valutazione ecologica delle lagune del Delta del Po: prospettive e sfide per il futuro

Cristina Munari, Emanuela Balasso, Remigio Rossi, Michele Mistri*

Dipartimento di Biologia ed Evoluzione, Università di Ferrara, via L. Borsari 46 - 44100 Ferrara

* *Referente per la corrispondenza: michele.mistri@unife.it*

Riassunto

Le lagune del delta del Po sono ecosistemi caratterizzati da naturale arricchimento organico e dipendenti dall'attività dell'uomo, in quanto ospitano una delle più floride attività di acquacoltura d'Europa. La naturale variabilità e le pressioni antropiche rendono difficile la valutazione della qualità ambientale e dello stato ecologico di riferimento. Dove la molluschicoltura viene svolta in modo estensivo, il principale obiettivo gestionale è di ottenere un'elevata raccolta del prodotto, compatibilmente con la conservazione nel lungo periodo dell'ambiente naturale. A tal riguardo, il caso della laguna di Goro è paradossale. La laguna è indubbiamente eutrofizzata e disturbata. Tuttavia, proprio l'elevato stato trofico è ottimale per la crescita delle vongole che garantisce un reddito lordo annuale di oltre 50 milioni di euro. Da un punto di vista ecologico, lo stato della laguna varia tra POOR e MODERATE (secondo la 2000/60/EC), ma da un punto di vista socio-economico, la sua qualità è indubbiamente VERY HIGH. L'utilizzo in laguna di indici sviluppati per le acque marino-costiere può fornire indicazioni erronee, definendo come degradato un corpo d'acqua che ospita comunità caratterizzate da una diversità naturale di per sé povera. Inoltre un utilizzo non appropriato di tali indici potrebbe avere ripercussioni rilevanti sul sistema socio-economico poiché una laguna classificata erroneamente come POOR richiederà costose misure di risanamento. Per le lagune del delta del Po, la definizione del concetto di stato ecologico dovrebbe considerare struttura, funzionamento e processi di tali ecosistemi allo scopo di definire, comprendere e proteggere o ripristinare l'integrità biologica. Parallelamente, si dovrà considerare anche la componente antropica in termini sia di qualità delle attività che di sostenibilità dei processi.

PAROLE CHIAVE: Indici bentonici / Macrofauna / Lagune / Water Framework Directive / Delta del Po

The ecological assessment of lagoons in the Po River Delta: perspectives and challenges

Po River Delta lagoons are ecosystems with a natural organic enrichment, which depend on human activities. They host one of the most flourishing shellfish farming industry of Europe. Defining ecological quality and ecosystem health is a difficult task where extensive ecosystem exploitation is performed. Here, due to shellfish farming the central goal of lagoon management is represented by the achievement of the maximum yield along with the long term conservation of the natural resources. Within this framework, the case of the Goro lagoon is paradoxical. The lagoon is undoubtedly eutrophic and under threatened. However, eutrophication is a requisite for the optimal growth of clams, which guarantees an annual revenue of more than 50 million euros. From an ecological point of view, the status of the Goro lagoon probably ranges from POOR to MODERATE (according to the 2000/60/EC), but the socio-economic quality is undoubtedly VERY HIGH. The lagoon assessment with indices and metrics developed for coastal waters might give a biased indication that the water body is degraded, when it might be just naturally threatened with low biodiversity. Moreover, the outcome of the use of a certain indices has a financial dimension such that lagoon misclassified as being “poor status” will then require expensive remediation measures. The concept of environmental status in the Po Delta coastal lagoons should take into account the structure, function and processes of such ecosystems with the aims to define, understand, protect or restore biological integrity. Clearly, it will have also to take into account the human dimension, along with its social and economical implications.

KEY WORDS: Benthic indices / Macrofauna / Lagoons / Water Framework Directive / Po Delta

INTRODUZIONE

Il Delta del Po è la più vasta zona umida d'Europa ed è costituito da un ampio complesso di lagune, esteso su due regioni: Veneto ed Emilia-Romagna. L'attuale conformazione, raggiunta nel XVII secolo, è il risulta-

to dell'opera millenaria del fiume Po che, tramite la deposizione di enormi quantità di detrito, ha progressivamente modificato la linea di costa, e tuttora continua a farlo. Le lagune che fanno parte del Delta del Po sono

dunque ecosistemi estremamente giovani ed in continua evoluzione. Si tratta di ambienti di transizione sia nello spazio, dunque tra mare e terra, che nel tempo, la cui naturale evoluzione, senza intervento antropico vedrebbe il formarsi inizialmente di un lago costiero, seguito da paludi ed acquitrini salati e, come esito finale, una foresta tidale (RANWELL, 1974). L'intervento antropico dunque è fondamentale per l'esistenza stessa di questi ecosistemi. All'attuale conformazione del Delta del Po ha infatti contribuito in modo fondamentale l'attività dell'uomo, tramite opere quali il Taglio di Porto Viro (1600-1604) e le numerose bonifiche di aree paludose. Il Delta stesso ha dunque origine antropica e può essere definito come un territorio guidato dall'uomo, attraverso il mantenimento dell'officinosità delle bocche a mare delle lagune, il dragaggio di canali ed la ricostruzione degli argini. Dal punto di vista ecologico le lagune sono ambienti estremamente vulnerabili, ma molto importanti anche dal punto di vista della conservazione (es., Convenzione di Ramsar, UN, 1971; Direttiva Habitat, 92/43/EC). Sono infatti soggette ad elevata variabilità dei parametri chimico-fisici, quali salinità, temperatura e ossigeno disciolto, e sono caratterizzate da naturale arricchimento organico. Le lagune ospitano comunità bentoniche dagli aspetti peculiari, quali un ridotto numero di specie, rispetto all'ambiente marino, con dominanza di taxa tolleranti ai cambiamenti ambientali (COGNETTI e MALTAGLIATI, 2000), all'arricchimento organico ed alla presenza di inquinanti (DAUVIN, 2007; MUNARI e MISTRI, 2007). Questi ecosistemi sono estremamente produttivi e rivestono un ruolo importante nelle dinamiche sociali ed economiche del Delta del Po: basta pensare alle redditizie attività di acquacoltura (venericoltura, in particolare) e pesca che vi vengono svolte. La Sacca di Goro, ad esempio, è il secondo produttore europeo di vongole (*Tapes philippinarum*) (TUROLLA *et al.*, 2008), mentre le Valli di Comacchio hanno avuto in un recente passato una notevole rilevanza, anche a livello europeo, per la pesca dell'anguilla.

L'implementazione della Direttiva Quadro sulle Acque (European Water Framework Directive, 2000/60/EC) ha provocato un importante dibattito sull'utilizzo di indici bentonici per determinare lo stato delle acque marino-costiere e di transizione (MAGNI *et al.*, 2004; BORJA, 2006; DAUVIN, 2007). Gli invertebrati bentonici sono infatti uno degli elementi biologici di qualità previsti dalla WFD per la classificazione dello stato ecologico degli ambienti acquatici. Gli Indici macrobentonici più conosciuti ed utilizzati, quali AMBI (BORJA *et al.*, 2000; MUXIKA *et al.*, 2005), BENTIX (SIMBOURA e ZENETOS, 2002) e BQI (ROSENBERG *et al.*, 2004), sono stati appositamente elaborati per la classificazione delle

acque costiere e di estuario nell'ambito dell'implementazione della WFD, e si basano sull'identificazione degli organismi al livello tassonomico di specie. L'intento della WFD di definire degli indicatori biologici per la valutazione degli ambienti litorali, ha tuttavia incontrato notevoli difficoltà, dovute ai cambiamenti latitudinali della biodiversità (MUNARI e MISTRI, 2008a) e ad errori di identificazione tassonomica. Non è certo infatti che le specie identificate lungo le coste di tutta l'Unione Europea siano realmente le stesse (DAUVIN, 2005). Le difficoltà legate all'identificazione tassonomica ed alla sempre maggior carenza di esperti tassonomi della macrofauna, soprattutto nelle Agenzie Regionali, pone quesiti sulla possibilità operativa di queste ultime, una volta che i piani di monitoraggio delle acque entreranno in vigore. Inoltre errori di identificazione tassonomica potrebbero tradursi in onerosi interventi di risanamento, dovuti ad un'errata valutazione della qualità ambientale. Per ovviare a tali inconvenienti, DAUVIN e RUELLET (2007) hanno proposto, per l'ambiente costiero della Manica, un indice basato sul rapporto tra policheti opportunisti ed anfipodi: BOPA (the Benthic Opportunistic Polychaetes Amphipods index). In tal modo i principi della sufficienza tassonomica (*sensu* FERRARO e COLE, 1990) sono stati applicati, per la prima volta, ad un indice riducendo il numero di errori di identificazione. Tuttavia, gli indici bentonici, sviluppati per ambienti marino-costieri dell'Atlantico e/o dell'Egeo, possono perdere la loro efficacia se applicati in ambienti di transizione (PONTI *et al.*, 2007), proprio a causa delle caratteristiche naturali di questi ultimi. La definizione della qualità delle lagune risulta inoltre difficoltosa per l'assenza di siti di riferimento (non sottoposti ad impatto antropico), contro i quali misurare la qualità di siti potenzialmente impattati. Di qui, la necessità di condizioni di riferimento, per ciascuna tipologia di ambiente acquatico, ad esempio: acque costiere, lagune ed estuari (MUNARI *et al.*, 2008a). Ulteriori difficoltà potrebbero inoltre derivare dall'applicazione di tali indici in aree geografiche (es. Mediterraneo occidentale) differenti da quelle di origine degli indici stessi, a causa delle peculiarità biogeografiche dei popolamenti bentonici (MUNARI e MISTRI, 2008a). Un ulteriore nuovo indice bentonico è stato recentemente proposto: BITS (Benthic Index based on Taxonomic Sufficiency; MISTRI e MUNARI, 2008), il quale si basa sul concetto di sufficienza tassonomica, ma è stato specificamente sviluppato per le lagune microtidali e non-tidali italiane. A differenza degli altri indici bentonici, in BITS il livello tassonomico utilizzato è la famiglia.

Un altro metodo di valutazione della qualità ambientale, basato sulla macrofauna, consiste nell'applicazione di indici basati sul concetto di distinzione tassono-

mica: Δ^+ e Λ^+ (WARWICK e CLARKE, 1995, 1998, 2001). L'indice di distinzione tassonomica media, (*average taxonomic distinctness*, Δ^+) è una misura dell'ampiezza tassonomica piuttosto che della ricchezza di specie. Le comunità bentoniche disturbate, infatti, sono generalmente costituite da specie tra loro strettamente legate dal punto di vista tassonomico (appartengono ad esempio alla stessa famiglia o ordine) e presentano cioè valori ridotti di Δ^+ . Al contrario, comunità non disturbate sono in generale rappresentate da specie distanti dal punto di vista tassonomico, che appartengono ad una più ampio numero di livelli tassonomici superiori (cioè a differenti ordini, classi, phyla). Queste comunità presentano cioè una maggior diversificazione tassonomica. L'indice di variazione nella distinzione tassonomica (*variation in taxonomic distinctness*, Λ^+) è una misura della variazione della distanza, lungo l'albero tassonomico. Questo indice è solitamente elevato in condizioni di disturbo ambientale, dove alcuni taxa risultano sovra-rappresentati, ed altri sottorappresentati. Il disturbo legato alla naturale variabilità ambientale infatti determina un continuo cambiamento nella composizione delle specie, mentre l'impatto antropico comporta variazioni delle comunità ai livelli tassonomici superiori, rendendo alcuni taxa meno rappresentati di altri lungo l'albero tassonomico (WARWICK e CLARKE, 1995), ad esempio alcuni phyla possono essere costituiti da un'unica specie, altri invece da molte specie appartenenti a differenti ordini. I due indici Δ^+ e Λ^+ tuttavia non sono conformi alla WFD, in quanto non discriminano lo stato ecologico di un sito entro 5 classi di qualità, ma evidenziano semplicemente i siti impattati.

Scopo di questo studio è di analizzare l'utilità di alcuni indici basati sulla macrofauna (AMBI, BENTIX, BITS) nel determinare lo stato di qualità, secondo la WFD, in ambienti lagunari del Delta del Po, e di stimare la qualità dei siti studiati, mediante indici basati sul concetto di distinzione tassonomica: Δ^+ e Λ^+ .

MATERIALI E METODI

Campioni di macrofauna bentonica sono stati prelevati in 7 lagune del Delta del Po (Caleri, Marinetta, Vallona, Scardovari, Goro, Gorino e Comacchio) in vari periodi stagionali, per un totale di 131 stazioni. Le lagune considerate sono caratterizzate da un differente grado di comunicazione col mare, ed idrodinamismo, e presentano differenti livelli di disturbo (MISTRI *et al.* 2000, 2001, 2008; MUNARI e MISTRI, 2007, 2008b). Infine, le stazioni sono state scelte, all'interno di ciascuna laguna, lungo un gradiente potenziale di eutrofizzazione/confinamento.

La macrofauna è stata raccolta utilizzando una benna Van Veen (0,027m²) in triplice replica per stazione;

infine il materiale raccolto è stato setacciato mediante una maglia di 500 μ m e si è proceduto all'identificazione degli organismi sino al livello di specie. Le specie sono state quindi aggregate a livello di famiglia.

Analisi statistica

I dati di macrofauna sono stati utilizzati per il calcolo di tre dei sopraccitati indici bentonici: AMBI, BENTIX e BITS. Tutti questi indici si basano sul concetto di sensibilità e tolleranza. AMBI è stato calcolato mediante il programma disponibile su www.azti.es. BENTIX è stato calcolato come riportato a http://www.hcmr.gr/english_site/services/env_aspects/bentix.html.

BITS ha la seguente formula:

$$\text{BITS} = \log [(6fI + fII)/(fIII + 1) + 1] + \log [nI / (nII+1) + nI / (nIII+1) + 0,5nII/(nIII+1) + 1]$$

dove fI, fII ed fIII: rappresentano il rapporto tra il numero di individui appartenenti alle famiglie sensibili (fI) tolleranti (fII) ed opportuniste (fIII) sul totale degli individui del campione, mentre nI, nII, e nIII rappresentano il numero di famiglie, sensibili (nI) tolleranti (nII) ed opportuniste (nIII), presenti nel campione. Per il calcolo si è utilizzato il programma gratuito disponibile sul sito web: www.bits.unife.it.

Dalla matrice non trasformata di specie/abbondanza si è ottenuta una matrice di similarità di Bray-Curtis. Per ciascun indice, è stata ottenuta una matrice assegnando a ciascuna stazione un numero corrispondente alla classificazione ecologica ottenuta tramite quell'indice (5 = HIGH, 4 = GOOD, 3 = MODERATE, 2 = POOR, 1 = BAD). La relazione tra l'informazione multivariata contenuta nella matrice di similarità di specie/abbondanza (SPECIES) e quella di ciascuna delle tre matrici, derivate dai valori assunti dai tre indici bentonici (AMBI, BENTIX e BITS) nelle 131 stazioni, è stata analizzata mediante l'analisi multivariata RELATE (CLARKE e GORLEY, 2006). Si è quindi proceduto ad ordinamento mediante multidimensional scaling (MDS) di secondo stadio (CLARKE e WARWICK, 2001) delle quattro matrici ottenute (AMBI, BENTIX, BITS e SPECIES), utilizzando la distanza Euclidea quale misura di similarità.

Infine sono stati applicati test di randomizzazione, utilizzati per: 1) confrontare i valori di Δ^+ e Λ^+ , calcolati nelle stazioni del Delta del Po, contro valori attesi, derivati da una 'master list' di specie delle lagune italiane, e 2) verificare la significatività delle deviazioni (dai valori attesi) dei valori assunti dai due indici nelle 131 stazioni. La master list è stata costruita sulla base dei dati in nostro possesso e su liste tassonomiche presenti in letteratura (MUNARI *et al.*, 2008b).

RISULTATI

Nella Laguna di Caleri la classificazione dello stato ecologico delle stazioni, ottenuta mediante i tre indici bentonici risulta alquanto differente (Tab. I). In particolare, secondo AMBI la qualità di tutte le stazioni risulta buona (GOOD), con la sola eccezione della stazione CAL1 in novembre (MODERATE); secondo BITS tutte le stazioni ricadono al di sopra del limite tra lo stato GOOD e quello MODERATE e lo stato in 4 delle 8 stazioni risulta addirittura ottima (HIGH). La classificazione mediante BENTIX discorda dagli altri due indici variando tra il POOR ed il BAD. È dunque possibile riscontrare una concordanza nella classificazione solo tra gli indici BITS e AMBI, almeno per le stazioni CAL3mar07, CAL2nov07 e CAL3nov07. Nella Sacca di Scardovari lo stato ecologico risulta inferiore rispetto a Caleri, sebbene anche in questo caso i risultati dei tre indici si discostino molto tra di loro (Tab. II). Secondo AMBI solo tre stazioni vengono classificate GOOD, tutte le altre cadono al di sotto di tale classe di qualità, variando tra MODERATE e POOR. Secondo BITS le tre stazioni (SCA1, SCA4, SCA5), classificate GOOD tramite AMBI, vengono definite HIGH in marzo e GOOD in novembre; il resto delle stazioni viene classificato MODERATE. BENTIX, anche in questo caso, fornisce una valutazione più negativa, classificando tutte le stazioni BAD, tranne SCA4mar07 e SCA5nov07, che vengono definite POOR. Complessivamente, non si riscontra alcuna concordanza tra le valutazioni dei tre indici, sebbene forniscano una classificazione simile per almeno tre stazioni, valutandole al di sotto del limite tra GOOD/HIGH e MODERATE. Nella Laguna di Marinetta, si riscontra una sorta di concordanza tra AMBI e BITS in tre stazioni che per entrambi ricadono al di sopra del limite tra GOOD/HIGH e MODERATE (Tab. III). Secondo AMBI solo 3 stazioni presentano uno stato di qualità GOOD, le altre 5 sono classificate MODERATE, mentre secondo BITS solo 2 stazioni vengono considerate MODERATE. BENTIX fornisce una valutazione tra BAD e POOR in tutte le stazioni e MODERATE solo in MAR2mar07, in accordo con AMBI e BITS. Solo 2 stazioni ricadono, secondo tutti e tre gli indici, al di sotto del limite tra GOOD/HIGH e MODERATE. Nella Laguna di Vallona AMBI e BITS forniscono una valutazione simile della qualità delle stazioni (Tab. IV): VAL2mar07 e VAL2nov07 (rispettivamente MODERATE e GOOD, per entrambi gli indici), e VAL1mar07 (GOOD per AMBI e HIGH per BITS). BENTIX anche in questo caso classifica le stazioni tra POOR e BAD. Nella Sacca di Goro la classificazione delle stazioni varia in relazione all'indice considerato (Tab. V). Secondo AMBI lo stato ecologico di 9 delle 31 stazioni è GOOD, mentre in nessuna stazione la

Tab. I. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Caleri (CAL), in marzo (mar) e novembre (nov) 2007 (07), determinato mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
CAL1mar07	GOOD	POOR	HIGH
CAL2mar07	GOOD	BAD	HIGH
CAL3mar07	GOOD	BAD	GOOD
CAL4mar07	GOOD	BAD	HIGH
CAL1nov07	MODERATE	POOR	GOOD
CAL2nov07	GOOD	BAD	GOOD
CAL3nov07	GOOD	POOR	GOOD
CAL4nov07	GOOD	BAD	HIGH

Tab. II. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Scardovari (SCA), in marzo (mar) e novembre (nov) del 2007 (07), determinato mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
SCA1mar07	GOOD	BAD	HIGH
SCA2mar07	POOR	BAD	MODERATE
SCA3mar07	MODERATE	BAD	MODERATE
SCA4mar07	GOOD	POOR	HIGH
SCA5mar07	GOOD	BAD	HIGH
SCA1nov07	MODERATE	BAD	GOOD
SCA2nov07	POOR	BAD	MODERATE
SCA3nov07	POOR	BAD	MODERATE
SCA4nov07	POOR	BAD	GOOD
SCA5nov07	MODERATE	POOR	GOOD

Tab. III. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Marinetta (MAR) in marzo (mar) e novembre (nov) del 2007 (07), determinato mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
MAR1mar07	GOOD	BAD	GOOD
MAR2mar07	MODERATE	MODERATE	MODERATE
MAR3mar07	MODERATE	BAD	MODERATE
MAR4mar07	GOOD	BAD	HIGH
MAR1nov07	MODERATE	POOR	GOOD
MAR2nov07	GOOD	POOR	HIGH
MAR3nov07	MODERATE	BAD	GOOD
MAR4nov07	MODERATE	BAD	HIGH

Tab. IV. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Vallona (VAL) in marzo (mar) e novembre (nov) del 2007 (07), determinato mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
VAL1mar07	GOOD	POOR	HIGH
VAL2mar07	MODERATE	BAD	MODERATE
VAL1nov07	MODERATE	BAD	GOOD
VAL2nov07	GOOD	POOR	GOOD

qualità è HIGH. Secondo BITS 12 stazioni sono GOOD e 6 HIGH. Mediante BENTIX solo 3 stazioni vengono classificate HIGH e solo 4 risultano essere GOOD; la maggior parte delle stazioni dunque sembra ricadere al di sotto del limite tra GOOD/HIGH e MODERATE e ben 18 sono considerate BAD. Malgrado le differenze riscontrate, in alcuni casi le classificazioni dei tre indici concordano, e.g. GORCjul04 (GOOD secondo AMBI e HIGH secondo BITS e BENTIX), GORCnov04 (GOOD secondo AMBI e BENTIX e HIGH secondo BITS), GOR3may04 e GOR3may05 (MODERATE per tutti gli indici). Nelle Valli di Comacchio, la maggior parte delle stazioni ricade al di sotto del limite tra GOOD/HIGH e MODERATE, indipendentemente dall'indice utilizzato (Tab. VI). Si osservano comunque differenze nella classificazione fornita da AMBI, BITS e BENTIX. Secondo AMBI 10 stazioni, delle 28 analiz-

zate, vengono classificate GOOD, nessuna HIGH; secondo BITS la qualità è HIGH in 2 stazioni e GOOD in 3, mentre le altre stazioni variano tra MODERATE, POOR e BAD (ben 5 stazioni). BENTIX classifica la maggior parte delle stazioni BAD; solo 2 stazioni infatti ricadono nella qualità HIGH, una in GOOD e una in POOR. In Valle di Gorino la classificazione delle stazioni ottenuta tramite AMBI concorda in molti casi con quella tramite BITS (Tab. VII). Delle 42 stazioni considerate, AMBI ne classifica 30 GOOD, 2 POOR ed il resto MODERATE; BITS invece ne classifica 5 HIGH, 21 GOOD, 2 POOR ed il resto MODERATE. Secondo BENTIX una sola stazione è classificata MODERATE, le altre variano tra BAD e POOR. Complessivamente, secondo AMBI e BITS non vi sono stazioni classificabili BAD nelle lagune di Caleri, Scardovari, Marinetta, Vallona, Goro e Gorino, mentre la situazione cambia nelle Valli di Comacchio, dove entrambi gli indici classificano lo stato di alcune stazioni come pessima (BAD).

Tab. V. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Goro (GOR) in maggio (may), luglio (jul), novembre (nov) e febbraio (feb), del 2004 (04) del 2005 (05), determinato mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
GOR1may04	MODERATE	POOR	MODERATE
GOR2may04	MODERATE	POOR	GOOD
GOR3may04	MODERATE	MODERATE	MODERATE
GOR4may04	POOR	BAD	MODERATE
GORCjul04	GOOD	HIGH	HIGH
GOR1jul04	MODERATE	BAD	MODERATE
GOR2jul04	GOOD	BAD	GOOD
GOR3jul04	MODERATE	GOOD	HIGH
GOR4jul04	MODERATE	BAD	POOR
GORCnov04	GOOD	GOOD	HIGH
GOR1nov04	GOOD	POOR	GOOD
GOR2nov04	MODERATE	BAD	GOOD
GOR3nov04	MODERATE	GOOD	GOOD
GOR4nov04	MODERATE	BAD	MODERATE
GOR5nov04	MODERATE	BAD	POOR
GORC feb05	MODERATE	HIGH	HIGH
GOR1feb05	GOOD	BAD	GOOD
GOR2feb05	MODERATE	POOR	HIGH
GOR3feb05	MODERATE	HIGH	GOOD
GOR4feb05	MODERATE	BAD	MODERATE
GOR5feb05	MODERATE	BAD	MODERATE
GOR1may05	POOR	BAD	POOR
GOR2may05	GOOD	BAD	HIGH
GOR3may05	MODERATE	MODERATE	MODERATE
GOR4may05	POOR	BAD	POOR
GOR5may05	GOOD	BAD	GOOD
GOR1jul 05	GOOD	BAD	GOOD
GOR2jul05	MODERATE	BAD	GOOD
GOR3jul05	POOR	GOOD	MODERATE
GOR4jul05	POOR	BAD	POOR
GOR5jul05	GOOD	BAD	GOOD

Tab. VI. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Comacchio (COM) in marzo (mar), maggio (may), luglio (jul), novembre (nov) e febbraio (feb), del 2004 (04) e del 2005 (05), determinate mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
COM2mar04	MODERATE	BAD	POOR
COM4mar04	POOR	BAD	POOR
COM5mar04	GOOD	HIGH	HIGH
COM6mar04	GOOD	BAD	BAD
COM2may04	GOOD	BAD	MODERATE
COM4may04	MODERATE	GOOD	MODERATE
COM5may04	GOOD	HIGH	HIGH
COM6may04	GOOD	BAD	BAD
COM2jul04	MODERATE	BAD	POOR
COM4jul04	MODERATE	BAD	MODERATE
COM5jul04	GOOD	BAD	GOOD
COM6jul04	GOOD	POOR	MODERATE
COM2nov04	POOR	BAD	BAD
COM4nov04	MODERATE	HIGH	GOOD
COM5nov04	POOR	BAD	POOR
COM6nov04	GOOD	BAD	MODERATE
COM2 jul 05	MODERATE	BAD	POOR
COM4 jul 05	POOR	BAD	POOR
COM5 jul 05	POOR	BAD	MODERATE
COM6 jul 05	GOOD	BAD	MODERATE
COM2 may05	POOR	BAD	POOR
COM4 may05	POOR	BAD	POOR
COM5 may05	POOR	BAD	MODERATE
COM6 may05	MODERATE	BAD	MODERATE
COM2 feb05	POOR	BAD	POOR
COM4 feb05	GOOD	BAD	GOOD
COM5 feb05	BAD	BAD	BAD
COM6 feb05	MODERATE	BAD	BAD

Tab. VII. Stato ecologico delle stazioni della laguna di Gorino (GRN) in marzo (mar) e novembre (nov), del 1999 (99) e del 2000 (00), determinato mediante AMBI, BENTIX e BITS.

	AMBI	BENTIX	BITS
GRN1mar99	MODERATE	POOR	MODERATE
GRN1apr99	GOOD	POOR	MODERATE
GRN1may99	GOOD	POOR	POOR
GRN1jun99	GOOD	POOR	MODERATE
GRN1jul99	GOOD	POOR	HIGH
GRN1sep99	MODERATE	POOR	MODERATE
GRN1oct99	GOOD	POOR	GOOD
GRN1nov99	GOOD	POOR	MODERATE
GRN1dec99	GOOD	POOR	MODERATE
GRN1feb00	MODERATE	BAD	MODERATE
GRN1mar00	MODERATE	BAD	MODERATE
GRN1apr00	GOOD	POOR	MODERATE
GRN1may00	GOOD	BAD	MODERATE
GRN1aug00	GOOD	BAD	GOOD
GRN2mar99	GOOD	POOR	HIGH
GRN2apr99	GOOD	POOR	HIGH
GRN2may99	GOOD	BAD	GOOD
GRN2jun99	POOR	BAD	POOR
GRN2jul99	GOOD	POOR	GOOD
GRN2sep99	GOOD	BAD	GOOD
GRN2oct99	GOOD	BAD	GOOD
GRN2nov99	MODERATE	BAD	GOOD
GRN2dec99	MODERATE	BAD	MODERATE
GRN2feb00	MODERATE	BAD	GOOD
GRN2mar00	GOOD	POOR	GOOD
GRN2apr00	GOOD	BAD	GOOD
GRN2may00	GOOD	BAD	GOOD
GRN2aug00	POOR	BAD	POOR
GRN3mar99	GOOD	BAD	HIGH
GRN3apr99	GOOD	BAD	HIGH
GRN3may99	GOOD	BAD	GOOD
GRN3jun99	GOOD	BAD	GOOD
GRN3jul99	GOOD	BAD	GOOD
GRN3sep99	GOOD	BAD	GOOD
GRN3oct99	MODERATE	BAD	MODERATE
GRN3nov99	GOOD	BAD	GOOD
GRN3dec99	GOOD	BAD	GOOD
GRN3feb00	MODERATE	BAD	GOOD
GRN3mar00	GOOD	BAD	GOOD
GRN3apr00	MODERATE	BAD	MODERATE
GRN3may00	MODERATE	BAD	GOOD
GRN3aug00	GOOD	POOR	GOOD

Tab. VIII. Risultati dei confronti a coppie (r di Spearman), mediante l'analisi RELATE, tra la matrice di specie/abbondanza (SPECIES) e quelle degli indici bentonici AMBI, BENTIX e BITS.

	SPECIES	BITS	BENTIX
BITS	0,202		
BENTIX	0,302	0,009	
AMBI	0,105	0,279	-0,035

Nella Tab. VIII sono riportati i risultati dell'analisi RELATE tra la matrice di specie/abbondanza (SPECIES) e le matrici ottenute dalle classificazioni mediante i tre indici (AMBI, BITS e BENTIX): il maggior valore di correlazione si osserva tra SPECIES e BENTIX (r -Spearman=0,302), seguito da quello tra SPECIES e BITS (r -Spearman=0,202). Nella figura 1 appare evidente che AMBI, BENTIX e BITS giacciono pressoché alla stessa distanza da SPECIES.

Nella figura 2a è riportato l'imbuto di probabilità dell'indice di distinzione tassonomica (Δ^+) ed in figura 2b l'imbuto di probabilità dell'indice basato sulla variazione nella distinzione tassonomica (Λ^+). Poche stazioni cadono al di fuori dei limiti del 95% di probabilità dei due indici. Vi è una certa corrispondenza tra i siti risultati disturbati mediante gli indici Δ^+ e Λ^+ e quelli al di sotto del limite tra HIGH/GOOD e MODERATE, ottenuti mediante BITS. La stazione COM6 mar04, ad esempio, cade al di sotto del limite inferiore di Δ^+ ed al di sopra di quello di Λ^+ , ed è giudicata BAD secondo BITS. La posizione assunta dalla stazione nell'imbuto del 95% delle probabilità attese, dato della simulazione, indica che Δ^+ è significativamente minore delle attese, mentre Λ^+ è significativamente superiore della variabilità in Δ^+ attesa nella comunità. La macrofauna in questa stazione è caratterizzata da taxa vicini dal punto di vista tassonomico e differentemente rappresentati tra i vari livelli tassonomici. Si tratta di specie opportuniste appartenenti alla famiglia degli Spionidi (3 specie), Capitellidi (2 specie), Oligocheti (1 specie) e un'unica specie di insetto, *Chironomus salinarius*. Questi organismi appartengono ai gruppi 3 e 2 in BITS e nella stazione non è presente alcun organismo sensibile (gruppo1).

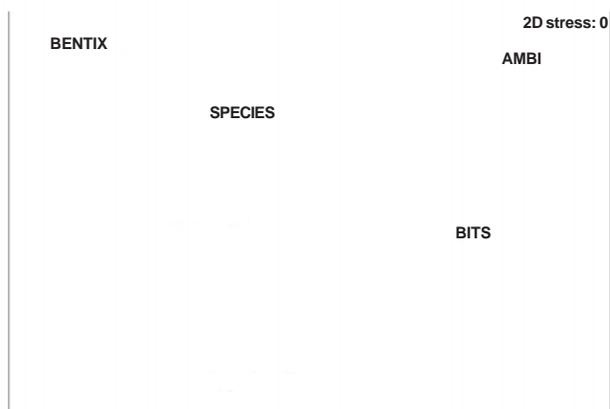


Fig. 1. Ordinamento mediante MDS di secondo stadio delle matrici di specie/abbondanza (SPECIES) e di quelle derivate dai classificazioni ottenute mediante i tre indici bentonici (AMBI, BENTIX e BITS) nelle 131 stazioni.

ne quindi resa possibile l'identificazione di condizioni di riferimento nell'ambito di ambienti acquatici, come le lagune, che sono in qualche modo disturbate e per le quali non è disponibile un sito di riferimento. In questo studio solo poche stazioni risultano disturbate: 16 stazioni delle 131 considerate. Dunque la classificazione che ne deriva è più ottimistica rispetto a quella basata sugli indici proposti nell'ambito della WFD. I due indici basati sulla distinzione tassonomica sembrano essere in grado di discriminare lungo un gradiente di degrado ambientale, evidenziando quali stazioni (cioè quelle al di fuori dei limiti del 95% di probabilità delle simulazioni) necessitano di una priorità nelle azioni di recupero (MUNARI *et al.*, 2008b). Tra gli indici proposti nell'ambito della WFD, BITS (il più ottimistico) evidenzia una certa corrispondenza con i risultati ottenuti dagli indici basati sulla distinzione tassonomica. Questo si spiega, in qualche modo, con la formula di BITS, che considera sia il numero che l'abbondanza di famiglie opportuniste, sensibili e tolleranti. BITS sembra dunque essere in grado di rilevare i cambiamenti di struttura a cui vanno incontro le comunità disturbate, cioè riduzione del numero di livelli tassonomici elevati e la presenza di specie appartenenti a poche famiglie opportuniste (WARWICK e CLARKE, 1995, 1998). Anche gli indici basati sulla distinzione tassonomica sembrano fallire in alcuni casi nel discriminare situazioni degradate, quando le comunità sono costituite da un numero ridotto di specie (MUNARI *et al.*, 2008b).

I tre indici bentonici, AMBI, BENTIX e BITS, si basano sul concetto di sensibilità/tolleranza, richiesto dalla WFD. Tale approccio ha tuttavia suscitato numerose controversie nella comunità scientifica, poiché la classificazione delle specie può essere soggettiva e variare tra aree geografiche (ROSENBERG *et al.*, 2004), ci sono problemi pratici legati alla mancata conoscenza degli effetti dell'attività antropica sulle comunità di specie bentoniche di ambienti di transizione (ICES; 2004), ed infine vi è la possibilità che errori di identificazione delle specie, producano un'errata interpretazione degli indici (DAUVIN, 2005). BITS tenta di ovviare a tali inconvenienti e presenta le seguenti caratteristiche: (1) è un indicatore SMART (*simple, measurable, achievable, realistic and time limited*); (2) è conforme alla WFD, in quanto basato sull'approccio della *sensibilità/tolleranza*; (3) è basato sul concetto di 'sufficienza tassonomica', in tal modo riduce il numero di errori di identificazione e supera il problema legato alla differente distribuzione geografica delle specie, riduce tempi e costi della classificazione e risolve gli errori di valutazione dello stato ecologico, dovuti all'incompletezza delle librerie; (4) è sviluppato proprio per lagune costiere micro- e non tidali, le cui comunità macrobentoniche presentano struttura e composizione

differenti da quelle costiere e d'estuario; (5) sembra riflettere differenti condizioni ambientali come eutrofizzazione (MUNARI *et al.*, 2008a).

In questo studio, l'utilizzo in ambienti lagunari di indici bentonici sviluppati per le aree marino-costiere (come BENTIX) sembra fornire una indicazione distorta dello stato ecologico, classificando come degradati siti che in realtà presentano comunità bentoniche tipiche di ambienti di transizione e dunque caratterizzate da una naturale ridotta diversità e da dominanza di specie tolleranti. Il fatto che un sito ricada nella categoria HIGH/GOOD, implica che non sono necessari interventi al fine di migliorarne la qualità ecologica; al contrario, una classificazione nell'ambito delle categorie 'MODERATE/POOR/BAD' richiede un'azione di ripristino o comunque miglioramento della qualità del sito e dunque un costo. Tutto ciò implica che l'utilizzo di un indice al posto di un altro, può avere importanti ripercussioni economiche in quanto la classificazione dello stato ecologico POOR, richiede inevitabilmente che l'Amministrazione locale prenda misure di risanamento del sito.

Nel nostro Paese, ma probabilmente nell'intera Unione Europea, gli ecologi riscontrano notevoli difficoltà nell'individuare in modo concorde criteri per la definizione di qualità e stato di salute degli ecosistemi lagunari in cui vengono svolte attività di venericoltura su ampie superfici. Qui, il raggiungimento degli obiettivi di qualità deve essere valutato in relazione allo sfruttamento delle risorse biologiche, ad esempio di *T. philippinarum*, che deve chiaramente raggiungere livelli ottimali in modo compatibile con la conservazione dell'ambiente naturale. Le lagune considerate in questo studio ricevono acque ricche di nutrienti provenienti dal Po e dai canali interni; tuttavia in quasi tutti i principali siti produttivi (Sacca di Goro, Sacca di Canarin, Sacca di Scardovari, e foci dei rami del Po) esistono banchi naturali di *T. philippinarum*. Si tratta di aree di nursery che hanno caratteristiche tali da favorire l'insediamento e la crescita delle giovani vongole e ne consentono il mantenimento degli stock negli allevamenti (MUNARI *et al.*, 2009). Va comunque considerato che la venericoltura stessa produce un impatto sull'ecosistema, destabilizzando il sedimento (SGRO *et al.*, 2005) e modificando i flussi di ossigeno e ammonio (VIAROLI *et al.*, 2003). Inoltre la stessa attività di raccolta del prodotto, necessaria per il mantenimento di un'elevata produttività, interrompe la successione ecologica (MUNARI *et al.*, 2006). L'esempio di Goro è sicuramente paradossale. La laguna infatti è indubbiamente eutrofizzata e risulta essere un ecosistema disturbato, in quanto riceve acque continentali ricche di nutrienti, provenienti da un bacino imbrifero tra i più sfruttati per l'agricoltura in Italia. Inoltre, le

fanerogame, indicatrici di buono stato ecologico di un sistema acquatico, sono scomparse dagli anni '60, e la laguna è soggetta sia a crisi distrofiche piuttosto frequenti, che a fioriture macroalgali e fitoplanctoniche estremamente comuni (VIAROLI *et al.*, 1995). Tuttavia la presenza di tali condizioni di eutrofizzazione, favorendo l'abbondanza di microalghe (principale fonte alimentare di molti filtratori, tra cui *T. philippinarum*), rendono la Sacca di Goro un ambiente ottimale per la crescita e l'allevamento dei bivalvi (TUROLLA, 2008). Il 'modello di Goro' garantisce una rendita annuale di oltre 50 milioni di euro, distribuiti tra circa 3000 pescatori (PAESANTI e PELLIZZATO, 2000). Se da un punto di vista ecologico la qualità della Sacca di Goro oscilla tra POOR e MODERATE (secondo la 2000/60/EC), e le vongole richiedono tempi di stabulazione dalle 6 alle 24 ore prima della commercializzazione, da un punto di vista socio-economico la sua qualità è indubbiamente ottima. Anche nella Sacca di Scardovari, malgrado

alcune problematiche ambientali riconducibili alla scarsa vivificazione, l'attività della venericoltura è consolidata e ritenuta di eccellenza. Tuttavia gli indici bentonici evidenziano uno stato ecologico tra POOR e MODERATE, o addirittura BAD (secondo l'indice BENTIX).

Il concetto di 'stato ecologico' di un ecosistema dovrebbe quindi prendere in considerazione struttura, funzionamento e processi dell'ecosistema stesso, con la finalità di definire, comprendere e proteggere, o ristabilire, l'integrità. Inoltre, la valutazione della qualità di un'area non dovrebbe prescindere dalla considerazione delle attività antropiche che vi insistono. La sfida per il futuro è quindi quella di riuscire a coniugare la conservazione, nel lungo periodo, di un ambiente naturale e la presenza di attività estremamente produttive, tramite la stretta collaborazione di ecologi, politici, responsabili della gestione ambientale e portatori d'interesse.

BIBLIOGRAFIA

- BORJA A., 2006. The new European Marine Strategy Directive: Difficulties, opportunities, and challenges. *Marine Pollution Bulletin*, **52**: 239-242.
- BORJA A., FRANCO J., PÉREZ V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**: 1100-1114.
- BORJA A., DAUER D.M., DÍAZ R., LLANSÓ R.J., MUXIKA I., RODRÍGUEZ J.G., SCHAFFNER L., 2008. Assessing estuarine benthic quality conditions in Chesapeake Bay: A comparison of three indices. *Ecological Indicators*, **8**: 395-403.
- CLARKE K.R., WARWICK R.M., 2001. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, second ed. PRIMER-E, Plymouth, 173 pp.
- CLARKE, K.R., GORLEY, R.N., 2006. *PRIMER v 6: User Manual Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth, 190 pp.
- COGNETTI, G., MALTAGLIATI, F., 2000. Biodiversity and adaptive mechanisms in brackish water fauna. *Marine Pollution Bulletin*, **40**: 7-14.
- DAUVIN J.C., 2005. Expertise in coastal zone environmental impact assessment. *Marine Pollution Bulletin*, **50**: 107-110.
- DAUVIN J.C., 2007. Paradox of estuarine quality: benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Marine Pollution Bulletin*, **55**: 271-281.
- DAUVIN J.C., RUELLET T., 2007. Polychaete/amphipod ratio revisited. *Marine Pollution Bulletin*, **55**: 215-224.
- EC, 2000. Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of Water Policy. http://europa.eu/lex/pri/en/oj/dat/2000/l_327/l_32720001222en00010072.pdf.
- EC, 1992. Council Directive 92/43/EC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. As amended by the Accession Act of Austria, Finland and Sweden. (EC Official Journal L 1, 1.1, 1995, p. 135). European Council, Brussels.
- FERRARO S.P., COLE F.A., 1990. Taxonomic level and sample size sufficient for assessing pollution impacts on the Southern California Bight macrobenthos. *Marine Ecology Progress Series*, **67**: 251-262.
- ICES, 2004. Report of the Study Group on Ecological Quality Objectives for sensitive and for opportunistic benthos species. ICES CM, ACE01: 1-41.
- LEONARD D.R.P., CLARKE K.R., SOMERFIELD P.J., WARWICK R.M., 2006. The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. *Journal of Environmental Management*, **78**: 52-62.
- MAGNI P., HYLAND J., MANZELLA G., RUMOHR H., VIAROLI P., ZENETOS A., 2004. In: Proceedings of the Workshop "Indicators of Stress in the Marine Benthos", Torregrande-Oristano (Italy), 8-9 October 2004. Paris, UNESCO/IOC, IMC, 2005, iv + 46 pp. (IOC Workshop Reports, 195) (IMC Special Publication ISBN 88-85983-01-4).
- MISTRI M., FANO E.A., ROSSI G., CASELLI K., ROSSI R., 2000. Variability in macrobenthos communities in the Valli di Comacchio, northern Italy, a hypereutrophized lagoonal ecosystem. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **51**: 599-611.
- MISTRI M., MUNARI C., 2008. BITS: a SMART indicator for soft-bottom, non-tidal lagoons. *Marine Pollution Bulletin*, **56**: 587-599.

- MISTRI M., ROSSI R., FANO E.A., 2001. Structure and secondary production of a soft bottom macrobenthic community in a brackish lagoon (Sacca di Goro, north-eastern Italy). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **52**: 605-616.
- MISTRI M., BALASSO E., MUNARI C., 2008. *Relazione sul secondo anno di attività nell'ambito del programma di monitoraggio delle Lagune Polesane*. Università degli Studi di Ferrara, 40 pp.
- MUNARI C., MISTRI M., 2007. Effect of copper on the scope for growth of clams (*Tapes philippinarum*) from a farming area in the Northern Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, **64**: 347-357.
- MUNARI C., MISTRI M., 2008a. Biodiversity of soft-sediment benthic communities from Italian transitional waters. *Journal of Biogeography*, **35**: 1622-1637.
- MUNARI C., MISTRI M., 2008b. The performance of benthic indicators of ecological change in Adriatic coastal lagoons: throwing the baby with the water? *Marine Pollution Bulletin*, **56**: 95-105.
- MUNARI, C., BALASSO, E., ROSSI, R., MISTRI, M., 2006. A comparison of the effect of different types of clam rakes on non-target, subtidal benthic fauna. *Italian Journal of Zoology*, **73**: 1-8.
- MUNARI C., MANINI E., PUSCEDDU A., DANOVARO R., MISTRI M., 2008a. Validation of a biotic index based on taxonomic sufficiency (BITS) in assessing the ecological quality status of Italian transitional waters. In: Atti International Workshop 'The implementation of the Water Framework Directive (CE2000/60) in Italy: state of the art on benthic indicators and European experiences', Aula Magna Rettorato, 29 aprile 2008, Ferrara. Abstract Book: 23.
- MUNARI C., WARWICK R.M., MISTRI M. 2008b. Monitoring with benthic fauna in Italian coastal lagoons: new tools for new prospects. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **18**: 1-13.
- MUNARI C., TUROLLA E., ROSSI R. MISTRI M., 2009. Estimating clam recruitment potential in a nursery area in the Sacca di Goro Lagoon (Italy). *Italian Journal of Zoology*, **76**: 129-132.
- MUXIKA I., BORJA A., BONNE W., 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecological Indicators*, **5**: 19-31.
- PAESANTI F., PELLIZZATO M., 2000. *Tapes philippinarum*. Veneto Agricoltura, 73 pp.
- PONTI M., COLANGELO M.A., CECCHERELLI V.U., 2007. Composition, biomass and secondary production of the macrobenthic invertebrate assemblages in a coastal lagoon exploited for extensive aquaculture: Valle Smarlacca (northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **75**: 79-89.
- RANWELL D.S., 1974. The salt marsh to tidal woodland transition. *Hydrobiological Bulletin*, **8**: 139-151.
- ROSENBERG R., BLOMQUIST M., NILSSON H.C., CEDERWALL H., DIMMING A., 2004. Marine quality assessment by use of benthic species abundance distribution: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, **49**: 728-739.
- SGRO L., MISTRI M., WIDDOWS J., 2005. Impact of the infaunal Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, on sediment stability. *Hydrobiologia*, **550**: 175-182.
- SIMBOURA N., ZENETOS A., 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean Marine Science*, **3**: 77-111.
- TUROLLA E., 2008. *L'allevamento della vongola verace nel Delta del Po*. Istituto Delta Ecologia Applicata, Ferrara-Italy, 111 pp.
- TUROLLA E., ROSSETTI E., PELLIZZATO M., ZENTILIN A., 2008. La venericoltura in Italia a 25 anni dal suo esordio. *Il Pesce*, **3/08**: 31-40.
- UN, 1971. *Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*. Ramsar (Iran), 2 February 1971. UN Treaty Series No. 14583. As amended by the Paris Protocol, 3 December 1982, and Regina Amendments, 28 May 1987.
- VIAROLI P., BARTOLI M., BONDAVALLI C., NALDI M., 1995. Oxygen fluxes and dystrophy in a coastal lagoon colonized by *Ulva rigida* (Sacca di Goro, Po River Delta, northern Italy). *Fresenius Environmental Bulletin*, **4**: 381-386.
- VIAROLI P., BARTOLI M., GIORDANI M., AZIONI R., NIZZOLI D., 2003. Short term changes of benthic fluxes during clam harvesting in a coastal lagoon (Sacca di Goro, Po River Delta). *Chemistry and Ecology*, **19**: 189-206.
- WARWICK RM, CLARKE KR., 1995. New biodiversity measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, **129**: 301-305.
- WARWICK R.M., CLARKE K.R., 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, **35**: 532-543.
- WARWICK RM, CLARKE KR., 2001. Practical measures of marine biodiversity based on the relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, **39**: 207-231.