

Diversità strutturale e tassonomica a confronto in comunità macrobentoniche di fondi incoerenti del Nord Adriatico

Giulia FORNI* & Michela CASTELLAZZI

Dipartimento di Ecologia del Territorio, Sezione di Ecologia, Università degli Studi di Pavia, Via San Epifanio 14, 27100 Pavia, Italia

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: giulia.forni@unipv.it

RIASSUNTO - *Diversità strutturale e tassonomica a confronto in comunità macrobentoniche di fondi incoerenti del Nord Adriatico* - Nello studio delle comunità macrobentoniche di fondo incoerente, le misure di diversità più utilizzate sono quelle basate su ricchezza specifica ed equiripartizione. Misure alternative valutano il grado di diversità tassonomica: la *taxonomic distinctness* consente di confrontare le comunità in base alla complessità delle relazioni tassonomiche tra specie, considerando che comunità evolute e non disturbate comprendono un elevato numero di specie appartenenti a più tipi. Misure di diversità basate sia sui rapporti quantitativi tra specie sia su quelli tassonomici sono state calcolate per comunità macrobentoniche campionate nel Nord Adriatico, in prossimità e a sud del delta del Po. I risultati ottenuti sono stati analizzati tenendo conto delle peculiarità dell'ambiente di studio, soggetto a un importante afflusso di acque dolci. Qui la comunità macrobentonica è caratterizzata da un ridotto numero di specie, alcune delle quali, ben adattate, raggiungono in condizioni favorevoli elevate abbondanze. È proprio nei casi di forti dominanze che si registrano differenze tra gli indici applicati: condizioni di scarsa diversità non sono infatti accompagnate da valori altrettanto bassi di *taxonomic distinctness*. Tale risultato suggerisce l'utilizzo di questi indici alternativi come ulteriori parametri nello studio delle comunità macrobentoniche in ambienti naturalmente disturbati.

SUMMARY - *Structural and taxonomic diversity of soft bottom macrobenthic communities in the North Adriatic Sea* - In the analysis of soft bottom macrobenthic community structure, traditional diversity measures based on species richness and evenness are the most used. Alternatives measures are those based on the degree of taxonomic relatedness of species: the *taxonomic distinctness* is a tool of comparing patterns of taxonomic relatedness in community samples. It considers that pristine benthic communities in a late stage of succession comprise a wide range of species belonging to many *phyla*. Diversity measures based both on quantitative and taxonomic relations among species have been calculated for macrobenthic communities sampled in the northern Adriatic Sea, near to the Po River delta. The results were analysed considering the peculiar characteristics of the study area, strongly influenced by the river discharge. In this area the macrobenthic community is characterized by a low number of species, some of which, well adapted, become very abundant in favourable conditions. In such cases low diversity does not always match with a low taxonomic distinctness. This result suggests the usefulness of these alternative indices as further parameters for studying macrobenthic community in a naturally disturbed environment.

Parole chiave: diversità strutturale, diversità tassonomica, macrobenthos, Nord Adriatico

Key words: structural diversity, taxonomic distinctness, macrobenthos, North Adriatic Sea (Italy)

1. INTRODUZIONE

In ecologia gli studi a livello di comunità sono quelli più utilizzati per valutare lo stato di conservazione degli ecosistemi, poiché la struttura di una comunità integra e riflette le condizioni ambientali nel tempo (Warwick 1993). Nello studio del macrobenthos di fondi incoerenti, una delle misure più immediate e utilizzate per avere indicazioni sulla struttura delle comunità è la diversità, intesa come numero di specie per numero di individui. Ecologi e matematici hanno elaborato nel se-

colo scorso diverse formule in grado di sintetizzare in un semplice valore numerico il concetto di diversità; ne sono un esempio gli indici di Shannon & Wiener (1949), di Simpson (1949) e di Pielou (1975).

Tali indici sono utili per comparare differenti comunità qualora le dimensioni dei campioni, i metodi e le caratteristiche degli habitat di campionamento siano simili, ma sono difficilmente applicabili per valutare le variazioni di diversità su campioni prelevati con metodi differenti e soprattutto con diverso sforzo di campionamento. Il rapporto tra ricchezza specifica e

superficie di campionamento è uno dei principali problemi nello studio della diversità, in particolare modo in ambiente marino, dove nella relazione tra numero di specie e area raramente viene raggiunto l'asintoto (Warwick & Clarke 1995).

Ricchezza e diversità specifica non considerano inoltre le differenze funzionali, tassonomiche o filogenetiche tra specie, nonostante diversi autori ne abbiano sottolineato l'importanza (Purvis & Hector 2000; Shimatami 2001): una comunità macrobentonica composta esclusivamente da organismi filtratori infatti può avere la stessa diversità strutturale di una comunità più evoluta dove tutti i gruppi trofici sono ben rappresentati.

In questo contesto Warwick & Clarke (Warwick & Clarke 1995; Clarke & Warwick 1998, 2001a) hanno proposto alcuni indici in grado di fornire informazioni sulla complessità delle relazioni tassonomiche tra specie, attribuendo maggior valore a quelle comunità in cui le specie appartengono a tipi diversi.

Nel presente lavoro misure di diversità tassonomica sono state applicate a dati di macrobenthos relativi a campioni prelevati lungo la costa nord adriatica; attraverso il confronto con misure di diversità strutturale, ne viene valutata l'utilità nello studio della comunità macrobentonica in questa area di mare fortemente influenzata dalla presenza del Po che causa continue variazioni dei principali parametri ambientali.

2. AREA DI STUDIO

L'analisi ha considerato 222 campioni di macrobenthos prelevati nel Nord Adriatico in prossimità del delta del Po (Fig. 1): in 9 stazioni situate nell'area prospiciente Porto Tolle (transetti 1, 2, 3), a 2,5 (A), 5 (B) e 8 m (C) di profondità, nel 1993 e 1994; in 6 stazioni nelle località di Porto Garibaldi (transetto 4) e Cesenatico (transetto 6), a 3 (A), 8 (B) e rispettivamente 14 e 12 m (C) di profondità, stagionalmente dal 1996 al 2002; infine, in 4 stazioni (di cui 2 comuni ai transetti 4 e 6) a 8 m di profondità, lungo un transetto parallelo alla linea di costa, nelle località di Porto Garibaldi (4B), Ravenna (5RA), Cesenatico (6B) e Cattolica (7CA), nel 2004.

3. METODI

I campioni di macrobenthos sono stati prelevati mediante l'utilizzo di una benna van Veen di 0,06 m² di superficie e setacciati su un vaglio con maglie da 1 mm.

Gli indici sono stati calcolati con l'utilizzo del soft-

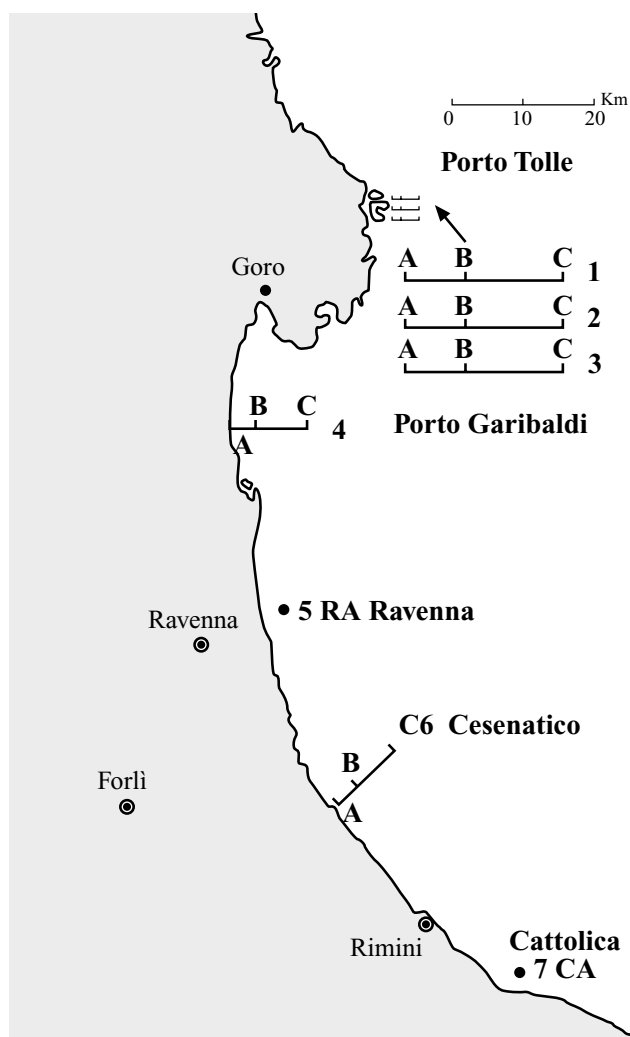


Fig. 1 - Area di studio e stazioni di campionamento.
Fig. 1 - Study area and sampling stations.

ware PRIMER 5 (Clarke & Warwick 2001b). Oltre alla ricchezza in specie, agli indici di Shannon & Wiener (1949), Simpson (1949) e Pielou (1975), sono stati applicati i seguenti indici di diversità tassonomica: *Taxonomic distinctness* (Δ^*), che corrisponde alla lunghezza della distanza tassonomica media tra due individui, appartenenti a specie diverse, scelti a caso da un campione; *Average taxonomic distinctness* (Δ^+), che misura la lunghezza della distanza media tra due specie scelte a caso da un campione, tenendo conto solo dei dati di presenza-assenza delle specie stesse (Fig. 2); *Variation in taxonomic distinctness* (Λ^+), che è la varianza associata alla *Taxonomic distinctness* e riflette la complessità dell'albero tassonomico (Fig. 2). Vengono di seguito riportate le formule utilizzate, in cui ω_{ij} rappresenta il peso dato alla distanza che unisce le specie i e j nell'albero tassonomico, x l'abbondanza e s il numero delle specie presenti.

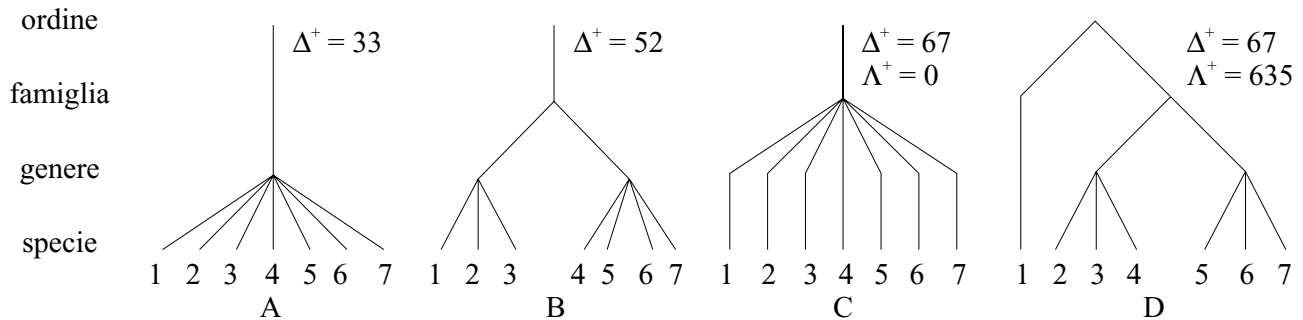


Fig. 2 - Esempio di *Taxonomic distinctness* (Δ^+) per 4 comunità con lo stesso numero di specie (7), ma differente struttura tassonomica. Nell'albero gerarchico la distanza tra livelli diversi è uguale ed è standardizzata in modo tale che il percorso tra due specie connesse al livello più alto sia uguale a 100, pertanto la distanza tra livelli successivi è circa 33 ($100/3$): specie appartenenti allo stesso genere distano 33 unità e specie appartenenti alla stessa famiglia ma a generi diversi 67 unità. Δ^+ aumenta da A a C all'aumentare della complessità strutturale della comunità in oggetto (le specie appartengono a più generi e famiglie). Nei casi C e D viene anche riportato il valore di *Variation in taxonomic distinctness* (Λ^+), più alto in D a causa della minor equiripartizione delle specie tra i livelli tassonomici superiori (mod. da Leonard *et al.* 2006).

Fig. 2 - Example of *Taxonomic distinctness* (Δ^+) calculated for 4 communities with the same number of species (7), but different taxonomic structure. The maximum distance between any two species is defined to be 100, so the distance between one level and the next is about 33 ($100/3$): species in the same genus are considered to be 33 units apart (one step) and species in the same family but different genera are 67 units apart (two step). Δ^+ increases from A to C following the structural complexity (the species belong to different genus and family). Variation in taxonomic distinctness (Λ^+) is higher in D, reflecting the greater unevenness of the tree structure compared with the simple regularity of C. (mod. from Leonard *et al.* 2006).

- (1) $\Delta^* = [\sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j] / [\sum_{i < j} x_i x_j]$
- (2) $\Delta^+ = [\sum_{i < j} \omega_{ij}] / [s(s-1)/2]$
- (3) $\Lambda^+ = [\sum_{i < j} (\omega_{ij} - \omega_{medio})^2] / [s(s-1)/2]$

La lista sistematica di riferimento considera 7 livelli: specie, genere, famiglia, ordine, sub-classe, classe, tipo. Nell'albero tassonomico la distanza tra livelli diversi è considerata uguale ed è standardizzata in modo tale che il percorso tra due specie connesse al livello più alto sia uguale a 100 (Clarke & Warwick 1999) (Fig. 2).

Infine, è stato applicato il test proposto da Clarke & Warwick (1998) per confrontare i valori di Δ^+ e Λ^+ calcolati per i singoli campioni con quelli attesi sulla base della lista di tutte le specie rinvenute nell'area di studio; i valori osservati sono rappresentati come punti in un *confidence funnel* costruito rappresentando la media e l'intervallo di confidenza al 95% per 1000 campioni composti casualmente in base alla lista delle specie presenti nell'area.

4. RISULTATI

I risultati ottenuti attraverso l'applicazione degli indici strutturali, di cui si riportano in figura 3 quelli relativi a ricchezza e diversità, mettono in evidenza un

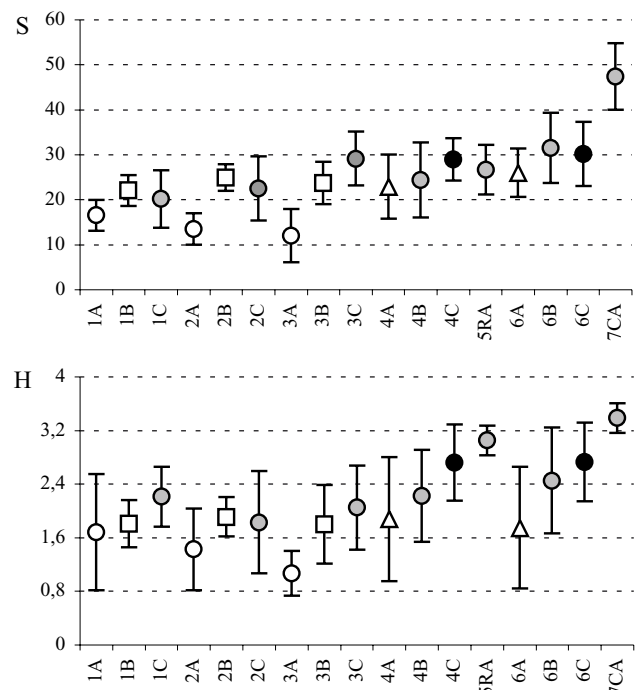


Fig. 3 - Andamento di ricchezza (S) (media \pm deviazione standard) e diversità (H) nelle stazioni in esame. \circ = stazioni a 2,5 m di profondità, Δ = a 3 m, \square = a 5 m, \bullet = a 8 m, \bullet = a 12/14 m.

Fig. 3 - Trend of richness (S) (mean \pm standard deviation) and diversity (H) in the sampling stations. \circ = stations at 2.5 m depth, Δ = at 3 m, \square = at 5 m, \bullet = at 8 m, \bullet = at 12/14 m.

generale aumento della diversità spostandosi da nord verso sud (stazioni da 1 a 7) e dalla costa verso il largo (stazioni da A a C). Tale andamento è attribuibile sia all'aumento del numero di specie, minimo nelle stazioni a riva di Porto Tolle (1A, 2A, 3A, con ricchezza media compresa tra 12 e 17) e massimo a Cattolica (7CA, con ricchezza media uguale a 48), sia all'equiripartizione che assume valori intorno a 0,4 nelle stazioni di riva (stazioni A) e superiori a 0,6 al largo di Cesenatico (6C) e Cattolica (7CA).

I risultati ottenuti attraverso l'applicazione degli indici di diversità tassonomica, che presentano andamento indipendente rispetto a ricchezza e diversità (Coefficiente di correlazione di Pearson $<0,13$ $p>0,05$), sono illustrati in figura 4. Le 177 specie considerate com-

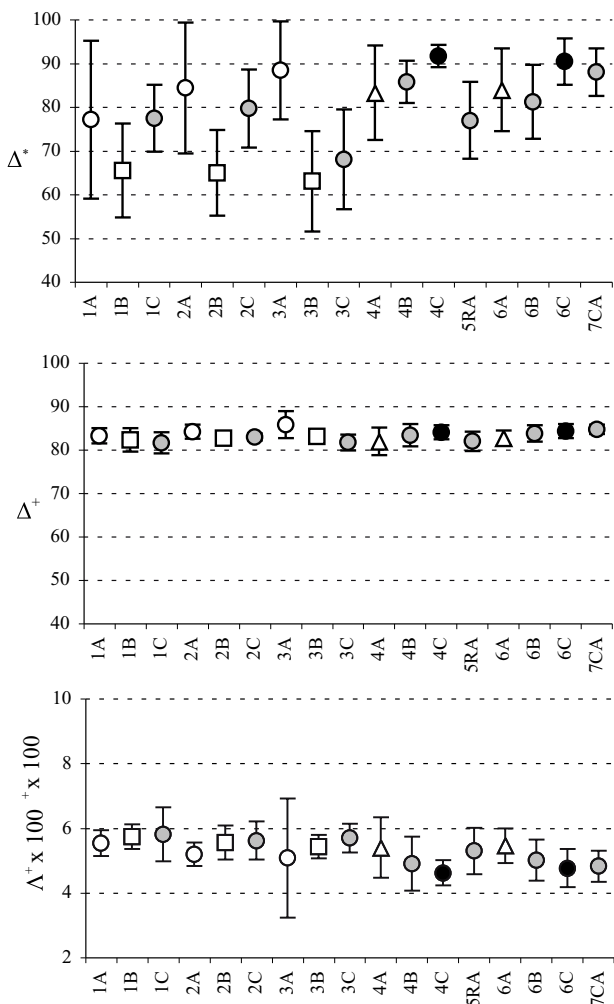


Fig. 4 - Andamento degli indici di diversità tassonomica (media \pm deviazione standard) nelle stazioni in esame. \circ = stazioni a 2,5 m di profondità, Δ = a 3 m, \square = a 5 m, \bullet = a 8 m, \blacksquare = a 12/14 m.

Fig. 4 - Trend of taxonomic indices (mean \pm standard deviation) in the sampling stations. \bullet = stations at 2,5 m depth, Δ = at 3 m, \square = at 5 m, \circ = at 8 m, \blacksquare = at 12/14 m.

pletivamente nell'analisi appartengono a 131 generi, distribuiti a loro volta in 88 famiglie, 21 ordini, 5 sub- classi e 4 tipi: Anellida, Mollusca, Arthropoda ed Echinodermata.

L'andamento di Δ^* , indice che considera anche l'abbondanza delle specie, presenta una certa variabilità soprattutto nell'area di Porto Tolle, dove nelle stazioni più a riva (1A, 2A, 3A), contrariamente a quanto osservato per ricchezza e diversità, si registrano valori elevati confrontabili a quelli delle stazioni più a sud e più al largo; nelle stazioni di Porto Tolle a 5 m di profondità (1B, 2B, 3B) si hanno invece i valori più bassi in assoluto. Comportamento meno variabile hanno gli indici tassonomici indipendenti dal numero di individui: i valori medi di Δ^+ oscillano tra 81 e 86, mentre Λ^+ è compreso tra 460 e 580. Quest'ultimo, spostandosi da nord verso sud, ha andamento opposto rispetto agli indici strutturali esaminati, con valori che aumentano lungo il transetto a Porto Tolle, mentre decrescono a Porto Garibaldi e Cesenatico.

La relativa omogeneità della struttura tassonomica

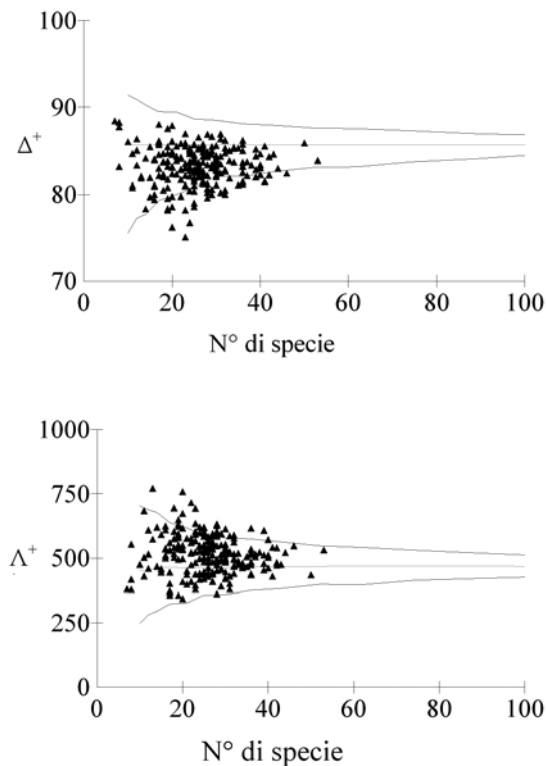


Fig. 5 - "Confidence funnel" (media e intervallo di confidenza al 95%) di Δ^+ e Λ^+ per 1000 campioni con diverso numero di specie estratti a caso dalla lista specie generale dell'area. \blacktriangle = valori di Δ^+ e Λ^+ nelle stazioni in esame.

Fig. 5 - "Confidence funnel" (mean and 95% probability intervals) of Δ^+ e Λ^+ for 1000 random subset of different number of species from the full species pool of the area. \blacktriangle = values of Δ^+ e Λ^+ in the sampling stations.

delle comunità in oggetto è evidente anche dai grafici di figura 5, in cui i valori di Δ^+ e Λ^+ dei singoli campioni vengono confrontati con il valore medio degli indici stimato per l'area di studio. Più dell'87% dei campioni mostra valori di Δ^+ e Λ^+ che ricadono all'interno dell'intervallo di confidenza al 95% ($p > 0,05$).

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'andamento descritto dagli indici strutturali è in accordo con il quadro ambientale noto per l'area di studio, dove i consistenti apporti fluviali causano continue variazioni dei principali parametri ambientali come salinità, ossigenazione, concentrazione di nutrienti e granulometria del substrato. Le comunità bentoniche rivelano particolari capacità di adattamento a tali condizioni (Ambrogi 1989), presentando una ricchezza specifica generalmente ridotta e nei momenti più favorevoli elevate densità delle specie meglio adattate. In condizioni così peculiari l'utilizzo di indici in grado di valutare la diversità non solo da un punto di vista strutturale, ma anche in base alla complessità dei rapporti filogenetici, si dimostra particolarmente utile.

Interessanti sono i risultati ottenuti per le stazioni più a riva di Porto Tolle: valori elevati di Δ^+ , in contrasto con bassa ricchezza specifica e diversità strutturale, sono attribuibili al fatto che le poche specie presenti non sono strettamente imparentate, ma appartengono ad altrettanti generi e famiglie; inoltre, la presenza di specie dominanti (il bivalve *Lentidium mediterraneum* (O.G. Costa, 1839) e il polichete *Prionospio caspersi* Laubier, 1962) distanti dalle altre dal punto di vista tassonomico contribuisce ad aumentare il punteggio dell'indice, che tiene conto anche dei valori di abbondanza.

Considerando solo i dati di presenza-assenza delle specie, le comunità appaiono più omogenee. L'aumento degli indici strutturali secondo un gradiente nord-sud non trova riscontro nell'andamento di Δ^+ , che risulta poco variabile in tutta l'area di studio con valori confrontabili a quelli trovati in altre zone estuariali (Salas *et al.* 2006; Leonard *et al.* 2006). Questo indica come le comunità in esame si differenzino principalmente in base a rapporti di tipo quantitativo, mentre dal punto di vista tassonomico siano piuttosto stabili.

Nel campionamento di ottobre '94 alla stazione più a riva di Porto Tolle sono stati trovati, ad esempio, i seguenti taxa: 7 specie, 7 generi, 7 famiglie, 5 ordini, 4 sub-classi, 4 classi, 3 tipi. Confrontando tale campione con quello prelevato a Cattolica nell'ottobre '04, quando si notano i più alti valori di ricchezza e diversità, si evidenzia come a un aumento del numero di specie non corrisponda un aumento proporzionale del nume-

ro di livelli tassonomici superiori: si hanno infatti 54 specie, 49 generi, 40 famiglie, 14 ordini, 7 sub-classi, 4 classi e 3 tipi.

Anche dall'analisi della *Variation in taxonomic distinctness*, che presenta andamento opposto rispetto alla *Taxonomic distinctness*, emerge che nelle comunità più al largo di Porto Garibaldi e Cesenatico valori più alti di Δ^+ rispetto alle altre stazioni dello stesso transetto sono dovuti a un maggior numero di specie nei livelli tassonomici più bassi e non a un effettivo aumento della complessità dell'albero gerarchico; analoghe conclusioni si possono trarre per la stazione di Cattolica.

Infine, i valori di Δ^+ ottenuti per i singoli campioni, pur mantenendosi, come già detto, all'interno dell'intervallo di confidenza stimato per l'area di studio, sono tendenzialmente inferiori rispetto alla media. Tale comportamento è a favore dell'ipotesi di Warwick & Clarke (1998), secondo cui in aree soggette a continui stress ambientali pochi taxa hanno evoluto specie in grado di adattarsi; questo emerge chiaramente dalla misura della *taxonomic distinctness*, che riflette gli effetti dei meccanismi sia biologici, sia evolutivisti responsabili della composizione tassonomica della comunità.

In conclusione, gli indici di diversità tassonomica testati si sono rivelati strumenti utili per la caratterizzazione delle comunità macrobentoniche nel Nord Adriatico, fornendo informazioni che non possono sostituire le tradizionali analisi strutturali, ma che consentono di approfondire le conoscenze sulla complessità delle biocenosi.

RINGRAZIAMENTI

Parte dei dati utilizzati in questo lavoro sono stati raccolti nell'ambito del progetto MURST PRIN 2003 "Nuovi Indicatori di stato Trofico e d'Integrità ecologica Di Ambienti marini costieri e ambienti di transizione (NITIDA)". Altri dati derivano da una collaborazione decennale tra la Sezione di Ecologia dell'Università degli Studi di Pavia e la Struttura Oceanografica "Daphne" di Cesenatico appartenente all'ARPA Emilia Romagna.

BIBLIOGRAFIA

- Ambrogi R., 1989 - Influenza degli apporti fluviali sulle biocenosi bentoniche costiere. *Nova Thalassia*, 10 (1): 221-236.
- Clarke K.R. & Warwick R.M., 1998 - A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *J. appl. Ecol.*, 35: 523-531.

- Clarke K.R. & Warwick R.M., 1999 - The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 184: 21-29.
- Clarke K.R. & Warwick R.M., 2001a - A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 216: 265-278.
- Clarke K.R. & Warwick R.M., 2001b - *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd ed., Plymouth Marine Laboratory, Plymouth: 144 pp.
- 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. *J. Environ. Manage.*, 78: 52-62.
- Pielou E.C., 1975 - *Ecological diversity*. John Wiley, New York: 165 pp.
- Purvis A. & Hector A., 2000 - Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 405: 212-219.
- Salas F., Patrício J., Marcos C., Pardal M.A., Pérez-Ruzafa A. & Marques J.C., 2006 - Are taxonomic distinctness measures compliant to other ecological indicators in assessing ecological status? *Mar. Poll. Bull.*, 52: 162-174.
- Shannon C.E. & Wiener W., 1949 - *The mathematical theory of communication*. University of Illinois, Urbana: 117 pp.
- Shimatami K., 2001 - On the measurement of species diversity incorporating species differences. *Oikos*, 93: 135-147.
- Simpson E.H., 1949 - Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688 pp.
- Warwick R.M., 1993 - Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Aust. J. Ecol.*, 18: 63-80.
- Warwick R.M. & Clarke K.R., 1995 - New "biodiversity" measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 129: 301-305.
- Warwick R.M. & Clarke K.R., 1998 - Taxonomic distinctness and environmental assessment. *J. Appl. Ecol.*, 35: 532-543.

Accettato per la stampa: 21 giugno 2007