

Emiliano Molin, Federico Riccato, Riccardo Fiorin, Giovanni Artico, Paolo Campaci

ANALISI DELLA COMUNITÀ BENTONICA DI SUBSTRATO MOLLE IN UN'AREA DEL GOLFO DI VENEZIA

Riassunto. La meiofauna e la macrofauna di fondo mobile del Nord Adriatico sono state studiate in nove stazioni localizzate a diversa distanza dalla costa. La comunità macrobentonica è dominata dalla presenza di Annelida, Arthropoda e Mollusca. Il gruppo degli Arthropoda è risultato più abbondante nelle stazioni al largo mentre quello dei Mollusca in quelle più vicine a riva. La comunità meiobentonica è dominata da Nematoda e Turbellaria. Le stazioni poste a distanza intermedia dalla costa mostrano maggiore biodiversità rispetto a quelle poste più al largo. Queste differenze si accentuano rispetto alla stazione F13 dove sono stati riscontrati bassi livelli di biodiversità probabilmente per la presenza di alcuni composti chimici di origine antropica già individuati in passato dal CNR. In questa stazione è stata inoltre osservata una maggior concentrazione di nutrienti nei sedimenti. L'analisi ha evidenziato inoltre una debole correlazione tra concentrazione di fosforo, sabbia e limo nei sedimenti e le comunità biologiche.

Summary. *Analysys of the benthonic community in a soft-bottom area of the Gulf of Venice.* The soft-bottom macro and meiofauna of North Adriatic sea were studied in nine stations located at different distance from the coast. The macrobenthic communities were dominated by Annelida, Arthropoda and Mollusca. Arthropoda were more abundant in the stations far from the coast while Mollusca were more abundant in the nearer ones. The meiobenthic communities were dominated by Nematoda and Turbellaria. The stations at intermediate distance from the coast were characterized by higher biodiversity than the ones located far from the coast; these differences are more evident in station F13, where the biological community shows low level of biodiversity. In this station, the occurrence of chemical compounds of anthropogenic origin was also observed, as already evidenced the Italian CNR in previous surveys. Sediment grain size highlights higher content of sand in the station far from the coast, while silt is more abundant in the nearest stations. The analysis of the data highlights a slight correlation between the biological communities and the concentration of phosphorus, sand and clay in the sediment.

Keywords: macrobenthos, meiobenthos, soft-bottom, Venetian Gulf, Adriatic sea.

INTRODUZIONE

Il litorale veneziano è caratterizzato da notevoli apporti di materiale terrigeno e acque dolci provenienti dall'area di gronda, che determinano una certa variabilità stagionale delle caratteristiche chimico fisiche della colonna d'acqua (FRANCO & MICHELATO, 1992; SOCAL et al., 2001).

La circolazione locale prevalente, lungo costa, ha direzione NE-SW, per cui il materiale immesso nel sistema non si distribuisce uniformemente lungo il litorale, ma tende a concentrarsi nei tratti meridionali dello stesso. Le foci di importanti corsi d'acqua (Brenta, Adige, Po), influenzano notevolmente le caratteristiche chimico-fisiche delle masse d'acqua litorali (SOCAL et al., 2001; BOLDRIN et al., 2005). Le elevate quantità di sostanza organica trasportata in sospensione possono accentuare i processi di sedimentazione al fondo determinando variazioni nella composizione e struttura delle comunità bentoniche (PEARSON & ROSENBERG, 1978; MOODLEY et al., 1998; AIROLDI, 2003). Questa componente risulta determinante per la comprensione delle dinamiche delle comunità biologiche nel loro complesso ed è una valida indicatrice di alterazioni ambientali sia di origine antropica che naturale.

Nell'ambito del progetto della Regione Veneto denominato Progetto Integrato Fusina (PIF) che prevede la realizzazione di un nuovo scarico a mare del depuratore di Fusina (Venezia), è stata prevista la caratterizzazione della comunità bentonica dell'area marina interessata dall'intervento. E' stata quindi effettuata la caratterizzazione della comunità macrobentonica e meiobentonica di fondo molle dell'area che corrisponde all'intero tratto di litorale veneziano: dal tratto afferente al comune di Cavallino-Treporti a quello di Chioggia.

L'utilizzo di queste due componenti, come indicatori di stabilità dei fondali e di modificazioni indotte da impatti di origine naturale od antropica, è oramai infatti ampiamente consolidato (GIOVANARDI et al., 2000; NEIRA et al., 2001; SCHRATZBERGER et al., 2001; THOMPSON & LOWE, 2004; COSENTINO & GIACCONE, 2006). Tuttavia, se ad oggi esistono molte informazioni che riguardano la componente macrozoobentonica di fondo molle dell'Adriatico settentrionale (VATOVA, 1936, 1946, 1949, 1966; GAMULIN-BRIDA 1967, 1974; FEDRA et al., 1976; OREL et al., 1987; OTT, 1992; ALEFFI et al., 1995; BIDDITU et al., 2000; AMBROGI et al., 2001; BOSCOLO et al., 2006), minori sono le informazioni che possono essere ricavate da studi riguardanti il meiobenthos del Nord Adriatico (BRUNETTI et al., 2000), malgrado l'importante funzione svolta da questo gruppo come indicatore di incidenze ambientali (NEIRA et al., 2001; SCHRATZBERGER et al., 2002).

Nell'ambiente marino, da un punto di vista ecologico, la meiofauna riveste infatti un ruolo molto importante nell'ambito dei flussi energetici del comparto bentonico. Queste caratteristiche, associate all'elevata sensibilità nei confronti del disturbo generato da alcune attività antropiche, consentono di utilizzare la meiofauna come un indicatore dell'alterazione del funzionamento dell'ecosistema marino, permettendo di valutare gli effetti dei processi di disturbo quali differenti tipologie di inquinamento (SANDULLI & DE NICOLA, 1991; KENNEDY & JACOBY, 1999), presenza di "artificial reefs" (DANOVARO et al., 2002) o attività di pesca a strascico (SCHRATZBERGER et al., 2001; SCHRATZBERGER & JENNINGS, 2002), miticoltura e piscicoltura (MIRTO et al., 2000, 2002; LA ROSA et al., 2001).

MATERIALI E METODI

L'area di campionamento

L'area di campionamento si estende lungo il tratto di litorale antistante i comuni di Cavallino-Treporti, Venezia e Chioggia; la distribuzione delle stazioni, sebbene si estenda su di un'area piuttosto vasta, si concentra maggiormente nel tratto costiero antistante l'isola del Lido. La distribuzione spaziale copre un gradiente costa-largo e geografico per valutare al meglio le differenze tra le comunità animali delle aree marine indagate (fig. 1) e comprendere come la distanza dalle principali fonti di arricchimento organico e di materiale terrigeno (bocche lagunari e foci fluviali) influenzi la distribuzione dei popolamenti. Tali fattori risultano, infatti, di fondamentale importanza per i popolamenti stessi (ROSENBERG, 2001; PEARSON & ROSENBERG, 1978). Le nove stazioni individuate sono state così analizzate sia singolarmente e per aree geografiche omogenee sia distinguendole in base alla loro distanza dalla costa in stazioni più vicine (< 3 NM), stazioni a distanza intermedia ($> 3 / < 5$ NM) e sta-

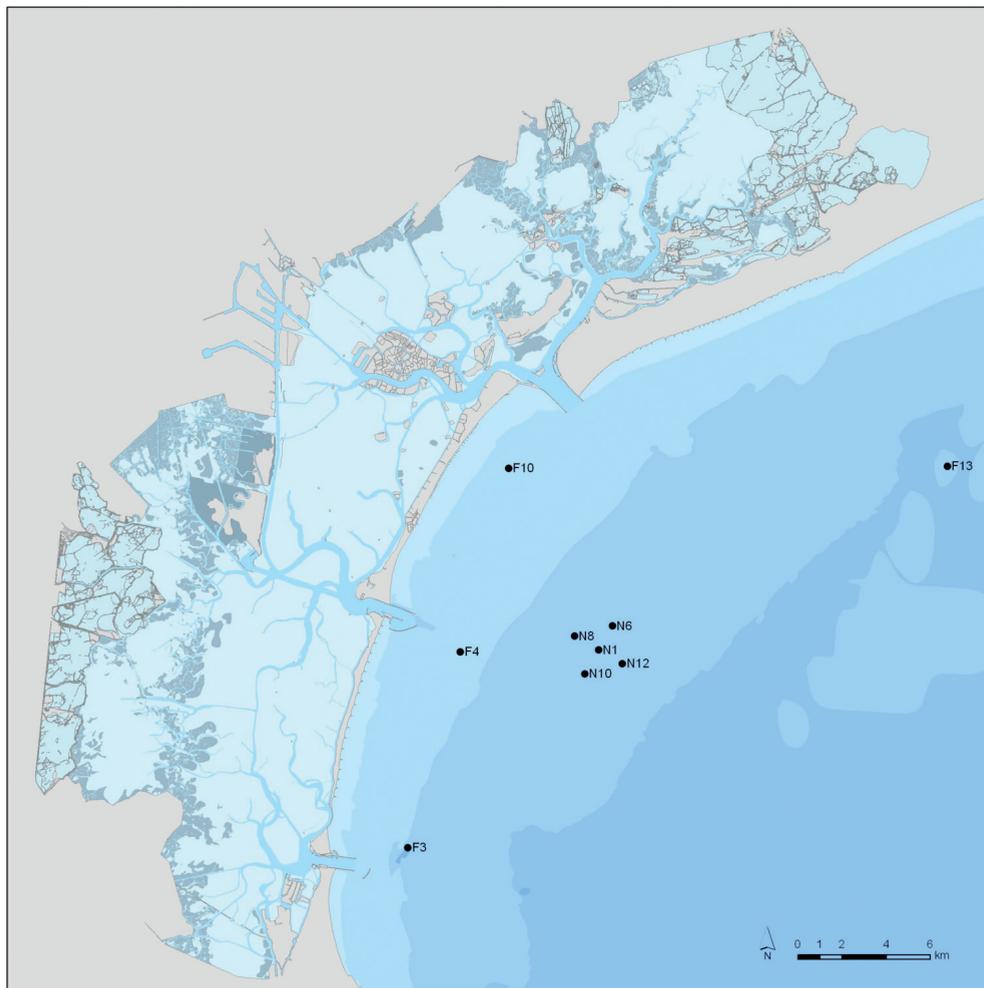


Fig. 1. Area marina monitorata.

zioni più lontane (> 5 NM). Nella tabella 1 sono riportate le coordinate delle stazioni con le relative profondità e matrici campionate.

Campionamento e analisi di laboratorio

Le attività di campionamento sono state condotte nel mese di luglio 2007 in 9 stazioni. Il campionamento della macrofauna ha previsto l'utilizzo di sorbona su un cilindro (diametro 40 cm per una profondità di infissione nel sedimento di 20 cm) in 3 repliche per stazione per complessivi 27 campioni. Una volta raccolti, i campioni sono stati anestetizzati con mento-

Stazione	Distanza da costa (NM)	Lat. N	Long. E	Profondità (m)	Matrice
F3	< 3 NM	5012933	2311567	17	Biota
F4	< 3 NM	5021786	2313944	14	Biota
F10	< 3 NM	5030089	2316126	16	Biota/Sedimento
N1	>3/< 5 NM	5021874	2320190	17	Biota/Sedimento
N6	>3/< 5 NM	5022957	2320815	19	Biota/Sedimento
N8	>3/< 5 NM	5022499	2319107	17	Biota/Sedimento
N10	>3/< 5 NM	5020792	2319565	19	Biota/Sedimento
N12	> 5 NM	5021249	2321272	18	Biota/Sedimento
F13	> 5 NM	5030179	2335970	20	Biota/Sedimento

Tab. 1. Elenco delle stazioni di campionamento, con indicazione delle coordinate geografiche, della profondità e distanza dalla costa e della matrice campionata.

lo e poi fissati con acqua di mare e formalina tamponata (8%), successivamente refrigerati a 4°C e trasportati in laboratorio per essere vagliati attraverso un setaccio con maglia 1 mm. Tutti gli organismi reperiti sono stati successivamente identificati, ove possibile, al livello di specie e ne sono stati determinati l'abbondanza ed il peso secco (g).

Per la raccolta del meiobenthos si è utilizzata una siringa da 250 cc per il prelievo di carote di spessore pari a 5 cm con diametro di 2.7 cm; per ogni stazione di campionamento sono state raccolte quattro repliche, una volta portate a bordo le carote sono state fissate con acqua di mare e formalina tamponata (4%) e refrigerate per il trasporto in laboratorio. I campioni, dopo sciacquatura su setaccio con maglia 63 µm per eliminare la formalina, sono stati osservati allo stereomicroscopio. Gli individui sono stati conteggiati e classificati nei seguenti principali gruppi sistematici come indicato dalle metodiche di campionamento ed analisi del meiobenthos riportate in DANOVARO et al. (2003): Nematoda, Crustacea Copepoda, Ostracoda, Isopoda e Amphipoda, Annelida Polychaeta, Mollusca Bivalvia, Turbellaria, Sipuncula, Nemertea, Cnidaria, Priapulida.

In alcune delle stazioni di campionamento sono stati fatti inoltre dei prelievi di sedimento per effettuare le analisi granulometriche (A.G.I., 1977; BUCHANAN, 1984) e determinare la concentrazione di carbonio organico, di azoto e fosforo totali (ICRAM, 2001). Le analisi granulometriche non sono state effettuate in ogni singola stazione ma solo in alcune, in funzione del gradiente geografico, batimetrico e della distanza dalla costa.

Analisi dei dati

Per valutare la somiglianza tra i campioni raccolti in una stessa stazione e quindi la loro rappresentatività è stata eseguita, per la macrofauna e la meiofauna, l'analisi della similarità di BRAY-CURTIS (1957) calcolata sui dati di abbondanza preventivamente trasformati con la radice quadrata (ANOSIM test, CLARKE & WARWICK, 2001).

Il numero di taxa, le abbondanze totali e le biomasse totali degli organismi macrozoobenttonici sono state quindi ripartite nei principali gruppi sistematici.

Dai dati di abbondanza del macrozoobenthos e del meiobenthos si è proceduto al calcolo di alcuni dei principali indici biotici (Ricchezza in Specie, Abbondanza Totale, Indici di

Pielou¹ e Shannon). E' stato quindi condotto un confronto mediante analisi della varianza (ANOVA) degli indici tra tutte le stazioni (vicine, intermedie e lontane). Il test si basa infatti sulla verifica dell'ipotesi nulla (H_0) che non ci siano differenze tra le medie degli indici biotici delle diverse stazioni confrontando la variabilità (varianza) tra repliche di ogni stazione. Per quanto concerne i valori di abbondanza totale e ricchezza in specie i dati sono stati preventivamente trasformati con il logaritmo naturale al fine di rendere più omogenea la varianza e massimizzare quindi l'efficacia del test nell'evidenziare le eventuali differenze presenti.

Per verificare quali gruppi di organismi determinino le differenze strutturali delle comunità bentoniche indagate è stata utilizzata la routine SIMPER (PRIMER) sui dati di abbondanza della macrofauna e della meiofauna.

Infine per trovare le eventuali correlazioni tra i dati biologici e quelli chimico-fisici di granulometria dei sedimenti e di concentrazione dei nutrienti, è stata utilizzata la routine BEST del pacchetto software PRIMER in grado di valutare quali, tra le variabili ambientali considerate, siano più correlate con le matrici di similarità dei dati biologici ricavate rispettivamente dai valori di abbondanza del macrozoobenthos e del meiobenthos.

RISULTATI

L'analisi della similarità di BRAY-CURTIS (1957), calcolata sui dati di macrozoobenthos e meiobenthos, ha evidenziato la presenza di differenze significative tra le repliche delle diverse stazioni per il macrozoobenthos ($R=0.82$; $P=0.0001$) e, in minor misura, per il meiobenthos ($R=0.376$; $P=0.0001$). I pattern distributivi delle comunità dei nove siti, basati sulle abbondanze del macrozoobenthos ($\text{stress}=0.17$) e del meiobenthos ($\text{stress}=0.15$), sono stati quindi rappresentati mediante non metric MDS (figg. 2a e 2b). In particolare per quanto riguarda l'abbondanza macrobentonica, si nota una tendenza da parte delle repliche della stazione F13 a formare un cluster separato da tutte le altre repliche (si vedrà in seguito che questa stazione è caratterizzata anche da valori anomali degli indici biologici). Le repliche della stazione N12 si posizionano vicine a quelle delle stazioni intermedie, essendo situate in un'area vicina, ma in posizione più distante rispetto a quelle delle stazioni F3 ed F10, stazioni localizzate più vicino alla costa. La stazione F4 si distingue dalle altre vicine a riva; la vicinanza della bocca di porto di Malamocco potrebbe influenzare la composizione specifica del popolamento.

I pattern distributivi del meiobenthos risultano invece meno distinti rispetto a quanto evidenziato per il macrozoobenthos e non si evidenziano particolari suddivisioni tra le stazioni di campionamento.

Per quanto concerne il macrozoobenthos complessivamente sono stati campionati oltre 5000 esemplari appartenenti a 206 taxa: 4 Cnidaria Anthozoa, 3 Sipuncula, 41 Mollusca Bivalvia, 13 Mollusca Gastropoda, 2 Mollusca Scaphopoda, 67 Annelida Polychaeta, 64

¹ Per il meiobenthos non è stato calcolato l'indice di Pielou perché per alcune repliche il numero di taxa raccolto risultava pari a 1 e quindi non è risultato possibile il calcolo dell'indice.

Arthropoda Crustacea, 11 Echinodermata ed 1 Chordata Leptocardia (*Branchiostoma lanceolatum*). La distribuzione del numero di taxa e delle abbondanze del macrozoobenthos nei principali gruppi sistematici evidenzia la costante predominanza dei Policheti, seguiti da Crostacei e Molluschi.

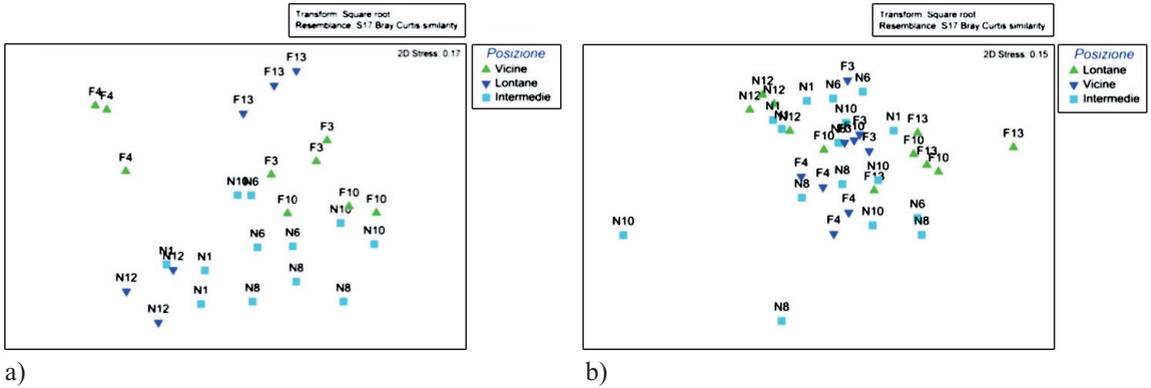


Fig. 2. MDS ricavati dai dati di similarità dei campioni di macrozoobenthos (a) e di meiobenthos (b).

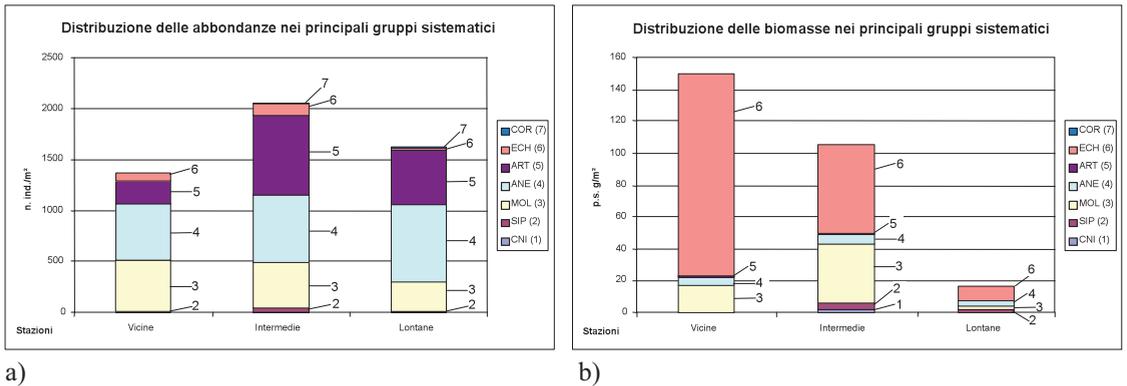


Fig. 3. Distribuzione delle abbondanze (a) e biomasse (b) nelle principali categorie sistematiche per gruppi di stazioni (vicine, intermedie e lontane).

L'analisi sistematica del macrozoobenthos, effettuata suddividendo le stazioni per aree vicine, intermedie e lontane dalla costa, evidenzia la presenza di un maggior numero di specie e organismi nelle stazioni intermedie con rapporti relativi tra i taxa principali che restano costanti, mentre i valori più elevati di biomassa sono stati registrati in prossimità della costa dove gli echinodermi danno il maggior contributo per questo parametro (fig. 3).

Per quanto concerne il meiobenthos, invece, complessivamente sono stati raccolti tutti i 12 gruppi tassonomici indicati in DANOVARO et al., (2003): Nematoda, Polychaeta, Bivalvia, Turbellaria, Sipuncula, Copepoda, Ostracoda, Isopoda, Amphipoda Gammaridea, Nemertina, Cnidaria, Priapulida.

Di questi gruppi alcuni sono stati trovati con un numero di individui significativo, mentre per altri ci si è limitati alla sola presenza sporadica in alcune stazioni. Nella stazione N12, ad esempio, posta a una maggiore distanza dalla costa, sono stati raccolti esemplari appartenenti a quasi tutti i taxa rilevati durante i campionamenti. La distribuzione delle abbondanze del meiobenthos nei diversi gruppi sistematici evidenzia come i più rappresentati siano: Nematoda, Annelida Polychaeta, Turbellaria, Mollusca Bivalvia e il gruppo dei Crustacea Copepoda (Arthropoda) (fig. 4).

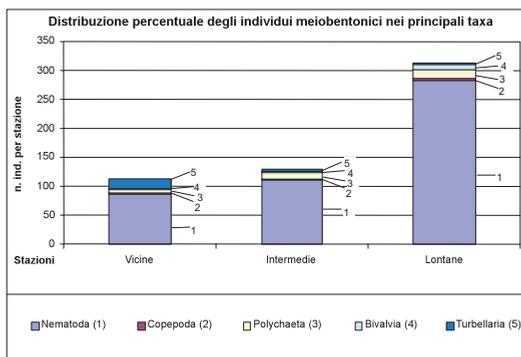


Fig. 4. Distribuzione media del numero di individui nei principali taxa del meiobenthos per i tre gruppi di stazioni (vicine, intermedie e lontane).

L'analisi dei principali indici biotici, calcolati dai dati di abbondanza del macrozoobenthos, ha evidenziato come l'indice di Ricchezza in Specie vari nel complesso tra 15 ± 4 nella stazione F4 e 44 ± 11 nella stazione N10, mentre le abbondanze risultano comprese tra i 406 ± 18 ind/m² nella stazione F4 e 2357 ± 1744 ind/m² in N10. Per ciò che concerne i valori medi degli indici di Shannon, questi variano da un minimo di 3 ± 0.34 in F13 ad un massimo di 4.5 ± 0.31 in N10, mentre l'indice di equitabilità di Pielou risulta compreso tra 0.723 ± 0.075 nella stazione F3 e 0.86 ± 0.027 nella stazione F4.

Il confronto mediante Analisi della Varianza tra i valori degli indici ecologici di tutte le stazioni ha evidenziato la presenza di differenze statisticamente significative, con valori di p rispettivamente inferiori a 0.001 per il numero di specie (\ln) ($F=13,36$)_{Fcrit 2,51}, l'abbondanza totale (\ln) ($F=6,07$)_{Fcrit 2,51} e l'indice di Shannon ($F=6,71$)_{Fcrit 2,51} e inferiori a 0.05 per l'indice di Pielou ($F=3,23$)_{Fcrit 2,51}.

I confronti svolti tra le stazioni in funzione della distanza dalla costa evidenziano come siano presenti differenze maggiori tra le stazioni più vicine a costa dove la F4 si caratterizza per valori degli indici mediamente più bassi, mentre le stazioni a distanza intermedia mostrano maggiore omogeneità per quanto riguarda la ricchezza di specie, l'abbondanza di organismi e il grado di dominanza (Indice di Pielou). Il confronto tra le due stazioni più lontane da costa mostra differenze statisticamente significative per gli indici di ricchezza speci-

fica e di Shannon, essendo la stazione F13 caratterizzata da bassi valori di biodiversità (tab. 2), mentre il confronto tra le stazioni del gruppo intermedie e la stazione N12, a loro molto prossima sebbene sita più al largo, non evidenzia significative differenze.

Data - set: confronto tra stazioni vicine						Data - set: confronto tra stazioni intermedie						Data - set: confronto tra stazioni lontane					
Indice biotico	gdf	F_{crit}	MS	F	P	Indice biotico	gdf	F_{crit}	MS	F	P	Indice biotico	gdf	F_{crit}	MS	F	P
Richness ln(S)						Richness ln(S)						Richness ln(S)					
Tra stazioni	2	5.14	0.841	29.78	0.001	Tra stazioni	3	4.07	0.094	3.85	0.06	Tra stazioni	1	7.71	0.449	9.42	0.037
Entro stazioni	6		0.028			Entro stazioni	8		0.024			Entro stazioni	4		0.048		
Abbondanza totale (ln)						Abbondanza totale (ln)						Abbondanza totale (ln)					
Tra stazioni	2	5.14	2.356	33.75	0.001	Tra stazioni	3	4.07	0.075	0.37	0.78	Tra stazioni	1	7.71	0.417	3.16	0.150
Entro stazioni	6		0.070			Entro stazioni	8		0.202			Entro stazioni	4		0.132		
Pielou (j)						Pielou (j)						Pielou (j)					
Tra stazioni	2	5.14	0.015	6.85	0.03	Tra stazioni	3	4.07	0.006	2.88	0.10	Tra stazioni	1	7.71	0.010	3.58	0.13
Entro stazioni	6		0.002			Entro stazioni	8		0.002			Entro stazioni	4		0.003		
Shannon-Wiener (H)						Shannon-Wiener (H)						Shannon-Wiener (H)					
Tra stazioni	2	5.14	0.320	2.39	0.17	Tra stazioni	3	4.07	0.559	6.70	0.01	Tra stazioni	1	7.71	1.374	19.85	0.01
Entro stazioni	6		0.134			Entro stazioni	8		0.083			Entro stazioni	4		0.069		

Tab. 2. Risultati dell'analisi della Varianza (ANOVA) ad un fattore (stazioni) svolta tra i valori degli indici biotici del macrozoobenthos delle stazioni vicine, di quelle intermedie e di quelle lontane (in grassetto sono riportati i confronti significativi).

L'analisi dei principali indici biotici, calcolati sui valori di abbondanza del meiobenthos, ha evidenziato come l'indice di Ricchezza in Taxa vari mediamente nel complesso tra i soli 2 ± 0.8 taxa della stazione F13 e i 6 ± 1 della stazione N12, mentre le abbondanze risultano comprese tra gli 8 ± 4 ind per campione sempre nella stazione F13 e i 151 ± 76 individui per campione della stazione N12. L'indice di Shannon evidenzia una variazione compresa tra 0.3 ± 0.27 della stazione F3 e 1 ± 0.82 della stazione N8.

I risultati dell'analisi della varianza tra i valori medi degli indici delle stazioni hanno evidenziato come non ci siano differenze statisticamente significative per il numero di taxa riscontrato ($F=1.83$)_{Fcrit 2.3}, mentre c'è una significativa differenza tra valori medi di abbondanza ($p < 0.001$; $F=6.21$)_{Fcrit 2.3} e di indice di Shannon ($p < 0.01$; $F=3.02$)_{Fcrit 2.3}.

Una maggiore variabilità è stata riscontrata tra le due stazioni più lontane dalla costa (F13 e N12), mentre quelle più vicine e quelle poste a distanza compresa tra le 3 e le 5 miglia nautiche mostrano una maggior omogeneità relativamente alle specie presenti; tuttavia le prime si differenziano per valori di diversità (indice di Shannon), mentre le seconde in quanto ad abbondanza di organismi (tab. 3). La stazione N12 si differenzia anche dal gruppo delle stazioni intermedie per valori di abbondanza molto più elevati ($p < 0.01$; $F=7.14$)_{Fcrit 3.06}.

Data - set: confronto tra stazioni vicine						Data - set: confronto tra stazioni intermedie						Data - set: confronto tra stazioni lontane					
Indice biotico	gdf	F_{crit}	MS	F	P	Indice biotico	gdf	F_{crit}	MS	F	P	Indice biotico	gdf	F_{crit}	MS	F	P
Richness ln(S)						Richness ln(S)						Richness ln(S)					
Tra stazioni	2	4.26	0.793	2.62	0.127	Tra stazioni	3	3.49	0.183	0.42	0.74	Tra stazioni	1	5.99	2.300	19.46	0.005
Entro stazioni	9		0.302			Entro stazioni	12		0.438			Entro stazioni	6		0.118		
Abbondanza totale (ln)						Abbondanza totale (ln)						Abbondanza totale (ln)					
Tra stazioni	2	4.26	0.686	2.15	0.173	Tra stazioni	3	3.49	3.543	3.70	0.04	Tra stazioni	1	5.99	18.259	38.11	0.001
Entro stazioni	9		0.319			Entro stazioni	12		0.958			Entro stazioni	6		0.479		
Shannon-Wiener (H)						Shannon-Wiener (H)						Shannon-Wiener (H)					
Tra stazioni	2	4.26	2.528	24.76	0.00	Tra stazioni	3	3.49	0.124	0.34	0.79	Tra stazioni	1	5.99	0.007	0.05	0.83
Entro stazioni	9		0.102			Entro stazioni	12		0.359			Entro stazioni	6		0.146		

Tab. 3. Risultati dell'analisi della Varianza (ANOVA) ad un fattore (stazioni) svolta tra i valori degli indici biotici del meiobenthos delle stazioni vicine, intermedie e lontane (in grassetto sono riportati i confronti significativi).

Per quanto riguarda la granulometria dei fondali indagati, in tabella 4 sono riportati i risultati con i valori percentuali delle diverse componenti secondo la scala Udden – Wentworth (A.G.I., 1977). La componente sabbiosa prevale in tutte le stazioni; percentuali elevate di limo sono state riscontrate nelle stazioni N8, N10, F10 e F13. Rilevante infine è risultata la percentuale di argille (pari quasi al 21%) nella stazione vicina a costa F10.

Se si suddividono le stazioni in base alla loro distanza dalla costa è possibile osservare che la componente sabbiosa e limosa dei sedimenti varia man mano che ci si allontana da riva. Le stazioni più vicine a riva hanno un tenore in sabbia del 65%, quelle intermedie del 66% e quelle lontane del 69%. Il limo è presente con il 24% nelle stazioni vicino a riva, con il 30% in quelle intermedie e lontane. Le differenze più apprezzabili tra i sedimenti si riscontrano sulle concentrazioni di argille che risultano più elevate nei sedimenti delle stazioni più vicine a riva (11%) e decisamente minoritarie nei fondali via via più lontani dalla costa (4% per i due gruppi rimanenti).

I valori di concentrazione dei nutrienti nei sedimenti evidenziano una maggior concentrazione di fosforo, azoto e carbonio totale nelle stazioni più prossime alla costa (fig. 5), dove mediamente sono stati raggiunti rispettivamente $316 \pm 106 \mu\text{g/g dw}$, $1.2 \pm 0.5 \mu\text{g/g dw}$ e $7.2 \pm 3.6 \mu\text{g/g dw}$. Nelle stazioni intermedie i valori sono risultati invece pari a $232 \pm 30 \mu\text{g/g dw}$ per il fosforo totale, $0.5 \pm 0.3 \mu\text{g/g dw}$ per l'azoto totale e $2.5 \pm 0.8 \mu\text{g/g dw}$ per il carbonio. Per i campioni raccolti nelle stazioni lontane si è verificato un diverso comportamento delle due stazioni: in N12 sono stati raggiunte le concentrazioni più basse per il carbonio organico ($1.6 \mu\text{g/g dw}$) e per il fosforo ($129 \mu\text{g/g dw}$) e anche i tenori di azoto totale sono risultati bassi ($0.8 \mu\text{g/g dw}$); nella stazione F13 invece sono stati raggiunti i valori più elevati per il fosforo ($533 \mu\text{g/g dw}$) e comunque molto elevati per azoto ($1 \mu\text{g/g dw}$) e carbonio ($4.3 \mu\text{g/g dw}$).

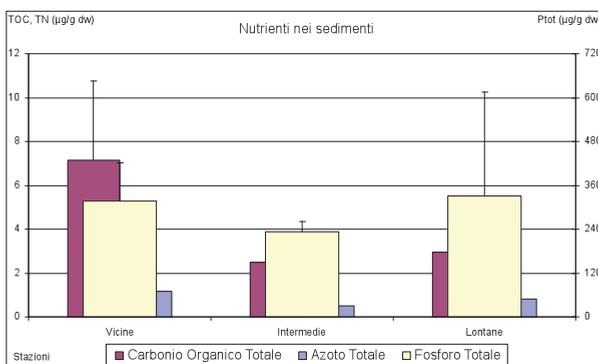


Fig. 5. Concentrazioni medie e rispettive deviazioni standard di carbonio organico, azoto e fosforo totale nei sedimenti delle stazioni vicine, intermedie e lontane.

La Routine SIMPER applicata ai dati di abbondanza del macrozoobenthos ha evidenziato come siano soprattutto gli anellidi a diversificare le comunità delle stazioni. Le stazioni

intermedie risultano essere le meno dissimili tra loro (media in dissimilarità del 65%). La stazione N12 possiede una dissimilarità media rispetto alle stazioni intermedie, pur localizzate in un'area vicina, del 71%. In generale le stazioni F13 e F4 risultano essere quelle che più si differenziano da tutte le altre, raggiungendo in molti casi dissimilarità superiori al 70%. Una forte differenza è presente ad esempio tra la stazione F4 e le altre due stazioni prossime alla riva (dissimilarità superiore al 70%), mentre tra le due stazioni F3 ed F10 la dissimilarità è decisamente inferiore (55%).

Per quanto concerne il meiobenthos, invece, le differenze maggiori tra stazioni sono del 73% di dissimilarità tra F13 e N12 (entrambi stazioni lontane dalla costa), mentre le minori differenze ci sono tra F3 ed F10 (stazioni vicine). Mediamente la dissimilarità tra tutte le stazioni è pari al 52% e le principali differenze sono dovute alla diversa abbondanza di Nematoda, Turbellaria e Polychaeta.

I risultati ottenuti dalla routine BEST hanno evidenziato che il fosforo totale e la percentuale di sabbia nei sedimenti sono le due variabili ambientali più correlate alla distribuzione dei dati di abbondanza delle specie macrobentoniche nelle stazioni con un coefficiente di correlazione di Spearman pari a 0.621. Questa relazione tra concentrazione di sabbia nei sedimenti e dati biologici è stata parzialmente confermata dalla medesima analisi svolta però sui dati del meiobenthos. Il parametro ambientale maggiormente correlato alla componente meiobentonica è risultato il tenore di limo nei sedimenti con un coefficiente di Spearman di 0.748 e in secondo luogo le concentrazioni di limo e sabbia ($R = 0.721$).

Stazione	Prof. m p.f.	Clottolo	Granulo	Sabbia molto grossolana	Sabbia grossolana	Sabbia media	Sabbia	Sabbia finissima	Limo grossolano	Limo medio	Limo	Limo finissimo	Argilla	Denominazione del terreno
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
		8-4 mm	4-2 mm	2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,125 mm	125-63 μ m	63-31 μ m	31-16 μ m	16-8 μ m	8-3,9 μ m	<3,9 μ m	
N1	-	0,00	0,00	0,00	8,75	61,17	22,62	0,05	1,03	1,24	1,78	2,31	1,05	Sabbia medio fine grossolana
N6	-	0,00	0,00	0,00	8,88	50,38	23,79	0,27	2,01	2,90	4,27	4,83	2,67	Sabbia medio fine limosa
N8	-	0,00	0,00	0,00	0,23	6,63	13,27	12,56	10,64	12,87	18,26	17,26	8,28	Sabbia medio fine con limo
N10	-	0,00	0,00	0,00	4,67	21,99	16,11	11,24	11,21	9,87	11,09	9,25	4,57	Sabbia medio fine limosa
N12	-	0,00	0,00	0,00	3,38	47,32	41,41	2,22	0,40	1,53	1,31	1,60	0,83	Sabbia medio fine
F2	-	0,00	0,00	0,00	12,87	59,60	15,57	0,00	1,89	1,89	2,81	3,50	1,87	Sabbia medio fine grossolana limosa
F10	-	0,00	0,00	0,00	2,15	15,42	14,19	8,61	12,14	10,46	8,71	7,54	20,78	Limo con sabbia medio fine argilloso
F13	-	0,00	0,00	0,00	0,31	9,08	18,77	14,82	10,49	12,59	14,64	12,26	7,04	Limo con sabbia fine debolmente argilloso

Tab. 4. Risultati delle analisi granulometriche eseguite sui campioni.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La distribuzione degli organismi macrobenttonici nei principali raggruppamenti tassonomici ha rispecchiato in parte ciò che è già stato osservato in altre aree del Nord Adriatico (BOSCOLO et al., 2006). L'indagine sui popolamenti di substrato incoerente ha infatti permesso di individuare ben 206 taxa zoobentonici di cui 170 sono stati determinati fino al livello di genere e di questi 157 a livello di specie. I taxa che più hanno contribuito a differenziare i popolamenti sono risultati i policheti, decisamente più abbondanti nelle stazioni intermedie, dove il gruppo dei Capitellidi risulta sempre determinante, come anche la specie *Hyalinoecia tubicola* (O.F. Müller, 1776) che è la più abbondante. Tra le specie più abbondanti nelle stazioni vicine a riva, invece, si registrano *Platynereis coccinea* (Delle Chiaje, 1841) e *Owenia fusiformis* Delle Chiaje, 1841, mentre il genere *Arenicola* Lamarck, 1801 è dominante numericamente nelle stazioni lontane, come la N12.

La maggior presenza nelle stazioni vicine a riva dell'echinoderma *Schizaster canaliferus* (Lamarck, 1816) ha determinato gli elevati valori di biomassa rilevati in queste stazioni (fig. 3), mentre le specie numericamente più abbondanti, in particolar modo nelle stazioni poste a distanza intermedia, sono risultate *Amphiura chiajei* Forbes, 1843, *Ophiura grubei* Heller, 1863 e *Amphipholis squamata* (Delle Chiaje, 1828).

Per quanto riguarda il fattore della posizione geografica, è risultato che molluschi gasteropodi e bivalvi sono più abbondanti nelle stazioni poste a minor distanza e a distanza intermedia dalla costa. Tra questi i più rappresentati sono risultati i bivalvi con le specie *Corbula gibba* (Olivi, 1792), *Lucinella divaricata* (Linnaeus, 1758), *Tellina distorta* Poli, 1791 e *Tellina donacina* Linnaeus, 1758. Relativamente più numerosa è risultata, invece, *Thracia papyracea* (Poli, 1791) nella stazione N12, tra quelle più lontane, mentre è risultata assente nella stazione F13. In quest'ultima stazione sono stati raccolti pochi esemplari di poche specie di molluschi tra le quali alcune più spiccatamente opportuniste come *C. gibba*, *Nucula nucleus* (Linnaeus, 1758) e *T. distorta*.

A dimostrazione della maggiore biodiversità dei popolamenti delle stazioni intermedie è la presenza di alcuni antozoi capaci di vivere in fondali di tipo sabbioso, quali *Cereus pedunculatus* (Pennat, 1777), *Calliactis parasitica* (Couch, 1838) e *Sagartia elegans* (Dalyell, 1848) che sono risultati assenti invece nelle altre stazioni; si è registrata la sola presenza del genere *Eleutheria* nelle stazioni vicine.

Per ciò che concerne la meiofauna i nematodi rappresentano la componente più abbondante e a seguire i turbellari e i bivalvi. Il primo gruppo assieme ai bivalvi è stato rinvenuto in concentrazioni molto più elevate nelle stazioni lontane e tra queste soprattutto nella stazione N12, mentre i Turbellari sono risultati molto più abbondanti nelle stazioni vicine a riva.

Lo studio dei principali indici strutturali dei popolamenti indagati ha evidenziato per alcune stazioni differenze statisticamente significative; le comunità con maggior grado di omogeneità sono risultate quelle delle stazioni poste a distanza intermedia dalla costa, mentre una elevata variabilità è stata riscontrata tra le due stazioni più lontane, la F13 e la N12, che presentano faune molto diverse tra loro: molto più ricca e diversificata quella della sta-

zione N12, più simile a quella delle vicine stazioni intermedie, decisamente più povera quella in F13. Particolarmente elevate sono risultate le concentrazioni di nutrienti in questa stazione, mentre molto inferiori sono quelle registrate in N12, tra le più basse di tutte le stazioni. Questo fattore e la distanza fra le due stazioni potrebbe in parte spiegare le notevoli differenze riscontrate.

L'analisi dei dati ha evidenziato la presenza di alcune differenze tra le comunità campionate, quali la maggiore o minore abbondanza di crostacei e molluschi a seconda della distanza dalla costa, e i valori mediamente più elevati di alcuni indici biologici nelle stazioni intermedie (S, N, H').

Anche la stazione F4, sita dinnanzi alla bocca di porto di Malamocco, si distingue per bassi valori di biodiversità e, complessivamente, bassi valori dei principali indici biotici analizzati. La composizione specifica in questa stazione potrebbe essere condizionata dalla vicinanza della bocca lagunare e dal materiale da essa proveniente.

I gradienti costa-largo e geografico, quindi, e le forzanti ad esso associate, quali torbidità della colonna d'acqua e tassi di sedimentazione, afflussi di acqua dolce e sostanza organica, possono infatti giocare un ruolo attivo nel determinare la struttura della comunità macrobentonica (PEARSON & ROSENBERG, 1978; AIROLDI, 2003) differenziando in modo particolare le faune presenti nelle stazioni più vicine a riva e, in genere, alle fonti di materiale terrigeno da quelle via via più lontane.

I risultati ottenuti dalle analisi delle granulometrie, del carbonio organico e del fosforo organico nei sedimenti hanno evidenziato una certa variabilità nei fondali prospicienti il litorale veneziano, con trend distributivi tuttavia poco apprezzabili. La stazione F13 si è caratterizzata per la presenza di concentrazioni di nutrienti più elevate a cui si sono associati bassi valori di diversità specifica ed abbondanza sia per il macrozoobenthos che per la meiofauna.

Le relazioni delle comunità biologiche con i principali parametri ambientali quali le caratteristiche del sedimento dei fondali hanno evidenziato una correlazione con la presenza nei fondali della componente sabbiosa e limosa, che è risultata più abbondante nelle stazioni intermedie e in quelle al largo.

I valori di abbondanza e biomassa della meiofauna dipendono da diversi fattori, fra i quali stagionalità, profondità, granulometria del sedimento e sua composizione mineralogica, concentrazione di nutrienti ed inquinanti. Essendo questi organismi da un punto di vista trofico principalmente depositivori, risentono quindi delle caratteristiche del substrato in cui vivono. In particolare, nei sedimenti, la meiofauna facilita la biomineralizzazione della materia organica e favorisce la rigenerazione dei nutrienti costituendo una fonte di cibo per i livelli trofici superiori (COULL, 1988, 1999); questi composti risultano quindi fattori primari per la crescita di questi organismi che hanno un elevato rapporto produzione/biomassa, fino a 5 volte superiore a quello della macrofauna (DANOVARO et al., 2003). Malgrado ciò nella stazione F13, dove sono presenti elevate concentrazioni di nutrienti, la meiofauna è risultata in minor numero e con livelli di biodiversità tali da far presupporre la presenza di altri fattori esterni quali la presenza di sostanze inquinanti nei sedimenti. Il sedimento raccolto in questa stazione è risultato infatti avere una particolare colorazione rossa, frutto probabilmente della presenza di ossidi di ferro al suo interno (oss. pers.). Sedimenti analoghi sono quelli

caratterizzati dalla abbondante presenza di fosfogessi, prodotti di scarto dei processi di lavorazioni del polo chimico di Porto Marghera rilasciati in Alto Adriatico e già individuati nel corso del progetto PRISMA 1 svolto dal CNR (<http://www.fi.cnr.it/r&f/n16/prisma2.htm>).

Bibliografia

- A.G.I., 1977 - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. *Associazione Geotecnica Italiana*, Roma, 96 pp.
- AIROLDI L., 2003 - The effects of sedimentation on rocky coast assemblages. *Oceanogr. Mar. Biol.: Ann. Rev.*, 41: 161-236.
- ALEFFI F., DELLA SETA G., GORIUP F., LANDRI P., OREL G., 1995 - Fattori climatici ed edafici e popolamenti bentonici dell'Adriatico Settentrionale e del Golfo di Trieste. *Atti del Congresso "Evoluzione dello stato trofico in Adriatico"*, Marina di Ravenna 28-29 settembre 1995, Regione Emilia Romagna: 81-99.
- AMBROGI R., FONTANA P., SALA I., 2001 - Long term series (1979-93) of macrobenthos data on the soft bottoms in front of the Po river delta. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 22: 167-174.
- BIDDITTO A., PANNOCCI A., PENNA M., TRABUCCO B., AMATO E., LORENZI C., FRESI E., 2000 - Osservazioni preliminari sulla comunità macrozoobentonica dei fondi mobili del Molise e confronto con i dati del Vatova del 1949. *Biol. Mar. Medit.*, 7 (1): 641-644.
- BOLDRIN A., LANGONE L., MISEROCCHI S., TURCHETTO M., ACRI F., 2005 - Po river plume on the adriatic continental shelf: dispersion and sedimentation of dissolved and suspended matter during different river discharge rates. *Mar. Geol.*, 222-223: 135-158.
- BOSCOLO S., BORROMEO S., FRANCESCHINI G., CORNELLO M., 2006 - La fauna di fondo mobile e la pressione di pesca a strascico nell'area delle Tegnùe di Chioggia. (Adriatico settentrionale). *Biol. Mar. Medit.*, 13 (1): 556-560.
- BRUNETTI R., BAIOCCHI L., BELLOT A., MASIERO L., 2000 - Andamento stagionale e verticale della meiofauna intertidale di alcuni litorali veneti. *Boll. Mus. civ. St. nat. Venezia*, 50 (1999): 155-169.
- BRAY R.J., CURTIS J.T., 1957 - An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27: 325-349.
- BUCHANAN J.B., 1984 - Sediment analysis. In: Holme N.A., McIntyre A.D. (eds), *Methods for the study of marine benthos*. International Biological Programme (Ibp), *Blackwell Sc. Publ.*, Oxford: 41-65.
- CLARKE K.R., WARWICK R.M., 2001 - Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd Ed., *PRIMER-E*, Plymouth, UK: 172 pp.
- COSENTINO A., GIACCONE S., 2006 - A case study of mollusc and polychaete soft-bottom assemblages submitted to sedimentary instability in the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol.*, 27: 170-183.
- COULL B.C., 1988 - Ecology of the marine meiofauna. In: Higgins R.P., Thiel H. (eds), *Introduction to the study of meiofauna*. *Smithsonian Inst. Press*, Washington: 18-38.
- COULL B.C., 1999 - Role of meiofauna in estuarine soft bottom habitats. *Aust. J. Ecol.*, 24: 327-343.
- DANOVARO R., GAMBI C., MIRTO S., 2002 - Meiofaunal production and energy transfer efficiency in a seagrass (*Posidonia oceanica*) bed of the Western Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 234: 95-104.
- DANOVARO R., GAMBI C., MIRTO S., SANDULLI R., CECCHERELLI V.U., 2003 - Meiofauna. *Biol. Mar. Medit.*, 10 (suppl.): 61-108.
- FEDRA K., OLSCHER E.M., SCHERUBEL C., STACHOWITSCH M., WURZIAN R.S., 1976 - On the ecology of a North Adriatic benthic community: distribution, standing crop and composition of the macrobenthos. *Mar. Biol.*, 38: 129-145.
- FRANCO P., MICHELATO A., 1992 - Northern Adriatic Sea: oceanography of the basin proper and of the western coastal zone. In: *Marine Coastal Eutrophication*. Bologna (Italy 21-24 March). *Sci. Total Environ.*, Suppl. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam: 35-62.
- GAMULIN-BRIDA H., 1967 - The benthic fauna of the Adriatic Sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 5: 535-568.
- GAMULIN-BRIDA H., 1974 - Biocenoses benthiques de la Mer Adriatique. *Acta Adriatica*, 15 (9): 1-103.
- GIOVANARDI O., PRANOVI F., FRANCESCHINI F., RAICEVICH S., FARRACE M.G., 2000 - Effects of scallop dredging on a benthic community living on a sandy bottom in the Adriatic Sea. *Quad. Icram*, Proc. Workshop on "Impact of trawl fishing on benthic communities": 25-48.

- KENNEDY A.D., JACOBY C.A., 1999 - Biological indicators of marine environmental health: meiofauna – a neglected benthic component? *Env. Monit. Assess.*, 54: 47-68.
- ICRAM, 2001 - Metodologie analitiche di riferimento. Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marno-costiero (triennio 2001-2003). *Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio - Servizio Difesa Mare, Lo Studio Editoriale Roma*.
- LA ROSA T., MIRTO S., MAZZOLA A., DANOVARO R., 2001 - Differential response of benthic microbes and meiofauna to fish-farm disturbance in coastal sediments. *Env. Poll.*, 112: 427-434.
- MIRTO S., LA ROSA T., DANOVARO R., MAZZOLA A., 2000 - Microbial and meiofaunal response to intensive mussel-farm impact in the Western Mediterranean. *Mar. Poll. Bull.*, 40 (3): 244-252.
- MIRTO S., LA ROSA T., GAMBI C., DANOVARO R., MAZZOLA A., 2002 - Nematode community response to fish-farm impact in the Western Mediterranean. *Env. Poll.*, 116 (2): 203-214.
- MOODLEY L., HEIP C.H.R., MIDDELBURG J.J., 1998 - Benthic activity in sediments of the northwestern Adriatic Sea: sediment oxygen consumption, macro- and meiofauna dynamics. *J. Sea Res.*, 40: 263-280.
- NEIRA C., SELLANES J, LEVIN L.A., ARNTZ W.E., 2001 - Meiofaunal distributions on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability. *Deep-Sea Res. I*, 48: 2453-2472.
- OREL G., MAROCCO R., VIO E., DEL PIERO D., DELLA SETA G., 1987 - Sedimenti e biocenosi bentoniche tra la foce del Po ed il golfo di Trieste (Alto Adriatico). *Bull. Ecol. It.*, 18: 229-241.
- OTT J.A., 1992 - The Adriatic benthos: problems and perspectives. In: Colombo G., Ferrari I., Ceccherelli V.D., Rossi R. (eds), *Marine eutrophication and population dynamics*. 25th Europ. Mar. Biol. Symp., Ferrara, *Olsen & Olsen*, Fredensborg: 367-378.
- PEARSON T.H., ROSENBERG R., 1978 - Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.
- ROSENBERG R., 2001 - Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. *SCI.MAR.*, 65 (suppl. 2): 107-119.
- SANDULLI R., DE NICOLA M., 1991 - Responses of meiobenthic communities along a gradient of sewage pollution. *Mar. Poll. Bull.*, 22: 463-467.
- SCHRATZBERGER M., JENNINGS S., 2002 - Impacts of chronic trawling disturbance on meiofaunal communities. *Mar. Biol.*, 141: 991-1000.
- SCHRATZBERGER M., DIMORE T.A., JENNINGS S., 2001 - Impacts of trawling on the diversity, biomass and structure of meiofauna assemblages. *Mar. Biol.*, 140: 83-93.
- SOCAL G., FRANCO P., RABITTI S., ARCES A., BIANCHI F., BOLDRIN A., 2001 - Time trends in the Northern Adriatic Sea. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 22: 35-40.
- THOMPSON B., LOWE S., 2004 - Assessment of macrobenthos response to sediment contamination in the San Francisco estuary, California, *USA Environ. Toxicol. Chem.*, 23 (9): 2178-2187.
- VATOVA A., 1936 - Ricerche quantitative sulla fauna bentonica dell'Alto Adriatico e loro importanza per la biologia marina. *Atti XXIV Riunione S.I.P.S. Palermo* 4: pp. 6.
- VATOVA A., 1946 - Le zoocenosi bentoniche dell'Adriatico. *Boll. Pesca, Pisc., Idrobiol.* I (2): 131- 135.
- VATOVA A., 1949 - La fauna bentonica dell'Alto e Medio Adriatico. *Nuova Thalassia* 1 (3): 1-110.
- VATOVA A., 1966 - Ricerche sulla produttività delle acque nei mari tarantini. *Atti Acc. Naz. Lincei. Serie VIII*, 41 (6): 562-564.

Indirizzo degli autori:

Emiliano Molin - Thetis S.p.A., Castello 2737/f, I-30122 Venezia, Italia; e-mail: emiliano.molin@thetis.it
Federico Riccato e Riccardo Fiorin - Laguna Project s.n.c., Castello 6411, I-30122 Venezia, Italia.
Giovanni Artico e Paolo Campaci - Regione Veneto - Direzione Progetto Venezia, Via Brenta Vecchia, 8 - 30172 Mestre (Ve).