

## Risposta delle comunità lagunari ad un evento di disturbo

Elisa Anna Fano, Giuseppe Castaldelli, Michele Mistri,  
Giorgio Rossi e Remigio Rossi

Dipartimento di Biologia, Università di Ferrara,  
Via Borsari 46, 44100 Ferrara

### Riassunto

E' stato studiato l'effetto del disturbo determinato dall'apertura di una nuova bocca a mare nella Sacca di Goro, la laguna più meridionale connessa al Delta del Po, sulle comunità a macroalghe e a macrozoobenthos. Sono stati confrontati i risultati di campionamenti mensili effettuati per tutto il 1993 e il 1998 in tre stazioni rappresentative di tre diverse situazioni abiotiche. L'apertura della nuova bocca ha determinato l'affermarsi di una macroalga precedentemente sporadica: *Cladophora* sp. var. *liniformis* e di un bivalve esotico *Musculista senhousia* ed infine la perdita di peculiarità delle tre stazioni, che rispondono, diversamente dal passato, in modo molto simile alle variazioni stagionali dei parametri abiotici.

### Introduzione

Gli ambienti di transizione sono ecosistemi ecologicamente molto importanti perché caratterizzati da proprietà peculiari e da specie in parte esclusive e in parte tipiche dei due ecosistemi limitrofi, in altri termini le zone ecotonali mostrano elevati valori di biodiversità sia tassonomica che funzionale. Gli ambienti di transizione costieri marini, comprendendo con questo termine anche le lagune costiere e gli estuari, sono stati soggetti in questi ultimi anni a marcati incrementi dei nutrienti con conseguenti fenomeni di eutrofizzazione; nel tentativo di diminuire il disturbo determinato da tali eventi, l'uomo è spesso intervenuto modificando l'assetto morfologico e quindi l'idrologia di questi ecosistemi (e.g. escavo dei canali sub-lagunari, apertura di bocche a mare artificiali, ecc.). Queste modificazioni dell'habitat, in modo particolare nelle lagune, hanno determinato l'affermarsi, nel comparto produttivo, delle macroalghe pleustofitiche, flottanti e non aderenti al substrato, che spesso hanno sostituito quasi completamente le rizofite (Schramm & Nienhuis, 1996).

L'incremento di nutrienti disponibili per queste macroalghe efemerale, determinato da eventi naturali ed antropici di fertilizzazione, favorisce la crescita e l'accumulo nelle zone a maggiore calma idrodinamica di letti macroalgali che, alla fine del loro ciclo biologico rapidamente vanno incontro a morte, decomposizione e mineralizzazione e possono rappresentare un fattore di disturbo per l'energetica lagunare; infatti tali fenomeni interessano ampie aree delle lagune che vengono così caratterizzate da prolungate crisi anossiche e da produzione ed accumulo di sostanze tossiche. In presenza di scarsa disponibilità di ossigeno la mineralizzazione della sostanza organica morta segue vie ossidative anaerobiche, quali la solfato riduzione (Canfield et al., 1993), con accumulo di acido solfidrico e solfuri nel sedimento questo determina una riduzione della macrofauna (Raffaelli et al., 1998) e soprattutto della infauna (Fenchel, 1996).

Le modificazioni nel primo livello trofico infatti, possono determinare profonde alterazioni nella struttura della comunità macrozoobentonica, fondamentale anello di congiunzione con i più elevati

livelli trofici (i.e. decapodi e pesci), essa infatti per caratteristiche intrinseche quali scarsa mobilità e diversificata composizione tassonomica risulta particolarmente suscettibile ad eventi di disturbo (Pearson & Rosenberg, 1978; Diaz & Rosenberg, 1995).

### La Sacca di Goro

La Sacca di Goro è la laguna più meridionale fra quelle connesse con il delta del Po, derivata dal trasporto di detriti solidi da parte dei rami fluviali (in particolare del Po di Goro) e dalla presenza di fondali bassi del mare antistante che determinano perdita di energia cinetica da parte delle particelle in sospensione veicolate dal fiume con conseguente rapida sedimentazione.

Le ininterrotte azioni del mare e del Po, sommate a numerosi interventi antropici quali processi di bonifica, costruzione di argini, escavazioni di canali navigabili e rafforzamenti del cordone litorale, hanno modellato la Sacca fino al raggiungimento della conformazione attuale.

La Sacca di Goro presenta oggi un'estensione di circa 2.600 ettari ed è profonda mediamente 1.5 m. Sia la Sacca che l'area circostante sono interessate da forti fenomeni di subsidenza naturale, incrementati dagli interventi antropici che come già detto hanno più volte interessato quest'area.

La Sacca è delimitata a nord dal centro abitato di Goro, e proseguendo in senso orario, da arginature artificiali fino a Gorino. Continuando verso Est si incontra l'argine naturale del Po di Goro il quale è intersecato da diversi canali che consentono un collegamento tra il fiume e la Sacca stessa. A Sud la Sacca viene parzialmente delimitata da uno scanno sabbioso.

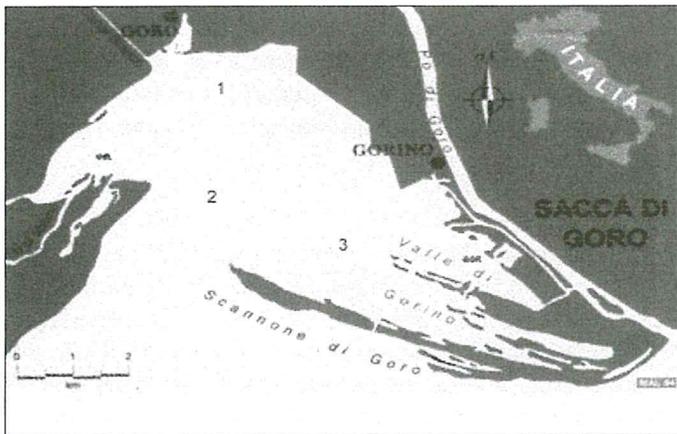


Figura 1 - Mappa della Sacca di Goro nei primi anni '90.

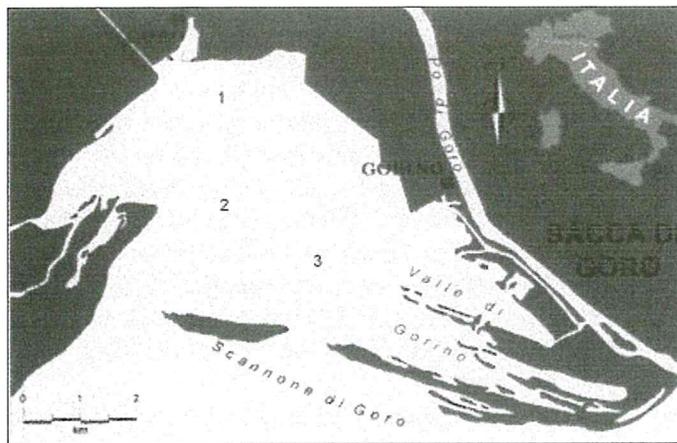


Figura 2 - Mappa della Sacca di Goro nel 1997.

La Sacca fino all'inizio degli anni '90 era caratterizzata da un'unica bocca a mare (Fig. 1).

E' appunto in quegli anni che, al fine di migliorare la circolazione idrica entro la Sacca, per evitare quindi i sempre più frequenti fenomeni di anossia nelle zone più confinate (Valle di Gorino) (Viaroli et al., 1993), vennero aperti due varchi sullo scanno. Su uno dei due tagli fu costruito un impianto idrovoro al fine di accelerare il ricambio delle acque della Sacca nel periodo estivo. L'impianto in questione si rivelò inadeguato e cadde rapidamente in disuso.

Sull'altro taglio artificiale, largo non più di 10 m, i fenomeni naturali di erosione dovuti al moto ondoso ed al trasporto di sedimenti fluviali accentuati in occasione della piena eccezionale del Po del Novembre 1994 hanno agito intensamente determinando forti modificazioni morfologiche: nel 1997 sullo scanno, a partire dal piccolo taglio di qualche anno prima, si è aperto un varco largo circa 800 m. La naturale evoluzione dello scanno ha inoltre causato un restringimento della vecchia bocca a mare (Simeoni, com. pers., 1998) (Fig. 2).

Sull'altra sponda della bocca a mare si incontra la spiaggia di Volano, posta a meridione dell'omonimo ramo del Po. Il Po di Volano a Ovest e il ramo delizioso del Po di Goro a Est sono i maggiori responsabili dell'apporto di acqua dolce nella Sacca. Altri immissari (canali Bianco e Bonello) hanno portate stagionali variabili essendo queste influenzate dall'uso delle acque a scopo irriguo; questi canali presentano portate massime nei mesi invernali e minime in quelli estivi (Pambianchi, 1987). A questi è possibile aggiungere le acque che rifluiscono dalle aree agricole circostanti dove sono presenti tre idrovore (Giralda, Romanina e Bonello).

L'acqua salata entra in Sacca tramite la bocca a mare naturale e tramite il varco che è stato creato nello scanno. La salinità delle acque provenienti dal mare che entrano in Sacca si attesta su valori prossimi al 30‰.

### Scopo del lavoro

Scopo del presente lavoro è quello di evidenziare le risposte delle comunità macroalgale e macrozoobentonica alle modificazioni nella morfologia e nell'idrodinamismo della Sacca imposte dall'apertura di una nuova bocca a mare; quindi di verificare l'evoluzione dell'ecosistema lagunare a seguito del disturbo creato da una seconda immissione di masse d'acqua marina. Sono stati paragonati i risultati ottenuti in due campagne di campionamenti mensili della durata di un anno ognuna: la prima dal dicembre 1992 al dicembre 1993 la seconda dal dicembre 1997 al dicembre 1998.

### Caratteristiche delle stazioni di campionamento

L'indagine è stata condotta in tre stazioni di campionamento. Ognuna di queste è stata scelta in quanto rappresentativa di un'area più ampia della Sacca con differenti caratteristiche biotiche (Colombo et al., 1994).

Nella zona a Nord della Sacca è stata scelta la stazione 1. La zona è poco influenzata dalle correnti di marea e riceve apporti di acqua dolce dal Po di Volano e dal Canal Bianco. Dal punto di vista idrodinamico questa zona può essere definita moderatamente calma.

Nella zona centrale della Sacca è stata scelta la stazione 2. Questa zona è direttamente collegata alla vecchia bocca a mare e quindi maggiormente influenzata dalle correnti di marea. Le condizioni idrodinamiche di questa parte di Sacca sono influenzate dalle masse d'acqua marine in entrata e in uscita dalla vecchia bocca.

Nella parte orientale i campionamenti sono stati effettuati nella stazione 3. Questa zona era la più riparata nei confronti dell'azione vivificante del mare prima dell'apertura della bocca artificiale.

### Raccolta e trattamento dei campioni

Nelle stazioni sono state effettuate con le stesse modalità due serie di campionamenti mensili la prima dal dicembre 1992 al dicembre 1993, la seconda dal dicembre 1997 al dicembre 1998. Le uscite in Sacca sono state effettuate con un natante dell'Amministrazione Provinciale di Ferrara dotato di sonde multiparametriche che hanno permesso un istantaneo rilevamento di alcuni parametri abiotici (profondità, trasparenza, temperatura, ossigeno disciolto e salinità).

La raccolta delle alghe pleustofitiche è stata effettuata tramite un retino (bocca di 40 cm e maglia di 490  $\mu$ m) trascinato a 10 cm dal fondo per 1 metro.

Gli animali associati al sedimento nudo sono stati campionati per mezzo di una benna (benna di Van Veen) avente un'area di prelievo unitaria di 0,06 m<sup>2</sup>.

Ogni mese, per entrambi i materiali biologici campionati, sono state eseguite tre repliche per ciascuna delle stazioni.

In laboratorio la componente vegetale è stata classificata e separata in taxa e di ognuno di questi, laddove possibile, è stata valutata la biomassa (peso secco privo di ceneri, Ash Free Dry Weight; peso secco in stufa a 60°C per 72 ore, peso ceneri in muffola a 800°C per 5 ore).

Il materiale raccolto mediante la benna è stato setacciato su maglia di 490  $\mu$ m per eliminare il sedimento, fissato con formalina all'8% tamponata con esometilertetramina e poi colorato allo scopo

di rendere più semplice l'individuazione degli animali. La colorazione è stata fatta con una soluzione composta da 100 ml di acqua distillata, 1 ml di soluzione di rosa bengala e 5 ml di soluzione concentrata di fenolo).

Gli animali sono stati classificati sia su base tassonomica sia su base funzionale (Livingston et al., 1997).

### Elaborazione dei dati

Tutti i dati raccolti nelle due serie di campionamenti sono stati espressi come valore medio stagionale (media dei nove campioni per stazione  $\pm$  deviazione standard).

I parametri raccolti mediante sonda multiparametrica non hanno subito nessuna elaborazione (escluso l'ossigeno) per cui sono stati semplicemente trascritti i valori registrati durante i campionamenti. Per l'ossigeno è stata calcolata la percentuale di saturazione.

Dei banchi macroalgali è stata valutata la composizione tassonomica qualitativa e quantitativa (espressa quest'ultima come valore medio delle nove repliche in g di biomassa  $\cdot$  m<sup>-2</sup>).

Per quanto riguarda gli animali sono state calcolate le densità medie stagionali (sulle nove repliche per ciascuna stazione di campionamento (N° individui  $\cdot$  m<sup>-2</sup>).

Ai valori delle densità assolute stagionali calcolate per ogni stazione in ciascuna delle due campagne di campionamento è stato applicato il test statistico U di Mann Whitney per evidenziare l'eventuale significatività delle differenze.

Si è passati quindi all'analisi funzionale. I taxa sono stati classificati secondo il gruppo trofico di appartenenza. Sono stati individuati i seguenti gruppi trofici:

1. grazers - erbivori pascolanti che si nutrono di materiale vegetale vivo (GR)
2. scrapers - raschiatori che si nutrono di materiale vivo o materiale morto raschiandolo dal substrato (SC)
3. suspension feeders - filtratori della colonna d'acqua (SF)
4. surface deposit feeders - detritivori epifaunali che si nutrono di particolato depositato sul substrato (SDF)
5. sub surface deposit feeders - detritivori infaunali che si nutrono di particolato depositato nel substrato
6. predatori - predatori che si nutrono di una delle categorie precedenti (PR).

La valutazione della struttura di comunità in termini tassonomici è stata realizzata mediante l'utilizzo degli indici strutturali classici:

Indice di Diversità (H' di Shannon)

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad [1]$$

dove  $p_i = n_i / N$ ;  $n_i$  = numero di individui della specie *i*-esima,  $N$  = numero totale di individui trovati;

Indice di Ricchezza in specie (D di Margalef)

$$D = (S-1) / \ln N \quad [2]$$

dove  $S$  = numero dei taxa e  $N$  = numero totale di individui;

Indice di Evenness (J di Pielou)

$$J = H' / \ln S \quad [3]$$

dove  $H'$  = indice di diversità di Shannon e  $S$  = numero dei taxa.

Per valutare la similarità quali-quantitativa delle singole comunità di ogni stagione e nei due anni, è stato applicato un test multivariato non parametrico: il Multi Dimensional Scaling (MDS). Questo test permette di riportare su di un piano bidimensionale i singoli punti campione; la distanza fra questi è inversamente proporzionale alla loro similarità (valutata col il metodo City block-Manhattan e trasformata con il metodo UPGMA) (Field et al., 1982). Normalmente per questo tipo di test vengono usati come dati di partenza i valori assoluti di densità trasformati tramite doppia radice quadrata. Il test dell'analisi delle similarità (ANOSIM, Clarke, 1993) è stato quindi applicato a

ciascuna matrice di similarità al fine di valutare l'esistenza di differenze significative tra le stagioni. Gli elementi delle matrici sono stati classificati per ranghi ed è stata calcolata la statistica

$$R = (r_b - r_w) / \{n(n-1) / 4\} \quad [4]$$

dove  $n$  = numero di campioni totale,  $r_b$  = similarità media per ranghi tra ciascun paio di repliche in differenti stagioni,  $r_w$  = similarità media per ranghi tra ciascun paio di repliche nella stessa stagione. Il campo di esistenza di  $R$  va da -1 a +1, con il valore di 0 corrispondente alla situazione in cui non vi sono differenze stagionali, cosicché tutti i campioni (stazioni) sembrerebbero repliche della stessa "popolazione" di siti della stessa stagione. La significatività del valore calcolato di  $R$  è stabilita dal confronto con la distribuzione dei valori di  $R$  ottenuta mediante una serie di permutazioni (999) ri-assegnando casualmente il label stagionale, con l'ipotesi zero che non vi siano differenze stagionali tra le comunità macrobentoniche nei siti campionati.

## Risultati

Vengono di seguito riportati i dati relativi al confronto 1993-1998 relativamente alle tre stazioni 1, 2 e 3.

### *Parametri abiotici*

I valori mensili dei parametri abiotici misurati in situ nelle 3 stazioni nella campagna di campionamenti svoltasi nel 1993, sono riportati nella tabella 1, mentre quelli relativi al 1998 sono riportati nella tabella 2. Infine nella tabella 3 sono riportati i valori medi annui confrontati nei due anni di campionamento.

Confrontando i dati raccolti nel 1993 con quelli raccolti nel 1998 si può notare in questo ultimo anno una maggiore somiglianza fra le tre stazioni, infatti mentre nel 1993 la stazione 3 risultava marcatamente diversa dalle altre due, nel 1998 le differenze sono riscontrabili solo per la percentuale di saturazione dell'  $O_2$  che comunque risulta generalmente più bassa. La salinità sul fondo risulta anch'essa mediamente più bassa e tale dato non è in accordo con il potenziale maggior ingresso di acqua marina.

Tabella 1 - Parametri abiotici registrati nelle 3 stazioni della Sacca di Goro nel 1993.

	Temperatura acqua			Profondità			$O_2$ (Saturazione)			Salinità		
	(°C)			(cm)			(%)			(‰)		
	Stazioni			Stazioni			Stazioni			Stazioni		
1993	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
DIC	7,7	9,4	6,6	240	210	170	105	113	110	30	33	25
GEN	8	6,8	5,7	160	140	170	136	107	110	24	22	18
FEB	7,7	7,7	7,2	190	160	100	113	128	117	31	31	20
MAR	12,5	12,2	13,8	185	170	120	158	151	119	22	25	8
APR	11,4	11,4	10,8	170	180	130	109	101	111	28	30	25
MAG	19,8	20,2	20,6	150	140	100	145	125	121	20	23	17
GIU	24,7	24,5	25,1	200	150	120	121	119	124	25	24	23
LUG	28,3	28,5	27,5	200	170	140	93	21	47	24	24	23
SETT	18,3	17,6	16,5	230	210	160	109	100	117	35	35	32
OTT	15	16	13,7	190	160	120	107	97	102	26	28	24
NOV	14,1	14,4	12,9	190	210	170	92	90	105	28	28	21
DIC	12,2	11,8	8,7	170	160	120	70	70	93	36	32	34

### *Parametri biotici*

#### *Componente macroalgale*

Nelle tre stazioni indagate, sia nel 1993 che nel 1998, sono assenti le rizofite e presenti le sole macroalghe pleustofitiche, non ancorate al substrato, che si presentano sotto forma di banchi misti

flottanti nella colonna d'acqua. Le specie vegetali presenti in tali banchi in quantità rilevabili sono riportate nella Tabella 4. Come si vede, nel 1998 risultano completamente assenti *Ceramium* sp. e *Melosira moniliformis* che erano presenti, sebbene in forma sporadica, nel 1993; inoltre si nota che *Ulva rigida* risulta presente in un minor numero di stagioni nella stazione 3 e presente in un maggior numero di stagioni nelle altre due stazioni; infine si nota soprattutto nella stazione 3 la maggiore presenza della *Cladophora* sp.

Tabella 2 - Parametri abiotici registrati nelle tre stazioni della Sacca di Goro nel 1998.

	Temperatura acqua (°C)			Profondità (cm)			O <sub>2</sub> (Saturazione) (%)			Salinità (‰)		
	Stazioni			Stazioni			Stazioni			Stazioni		
1998	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
DIC	10,1	8,2	5,8	180	200	150	83	89	88	28	26	22
GEN	8,7	8,9	7,7	150	170	170	122	120	120	28	29	25
FEB	8,1	8,1	8	150	170	170	122	123	135	25	26	25
MAR	13,3	13,9	14,6	150	150	120	95	103	108	20	23	24
APR	12,6	12,3	12	140	140	80	106	82	110	17	22	25
MAG	18,2	18,3	18,8	90	90	90	135	131	127	23	25	24
GIU	26,5	26,2	25,6	170	150	140	50	65	103	18	20	20
LUG	22,3	22	23	140	150	140	55	76	126	25	27	23
AGO	26,4	26	26,4	170	180	170	70	65	75	13	14	16
SETT	21	21,1	21	160	180	160	82	83	107	21	24	22
OTT	16,6	17	17	150	180	170	108	104	118	27	26	27
NOV	10,5	10,9	9,9	180	180	210	72	72	84	26	24	24
DIC	11,6	10,7	10,2	230	200	200	59	68	74	31	27	25

Tabella 3 - Confronto dei valori medi dei parametri abiotici registrati nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

		Temperatura acqua (°C)			Profondità (cm)			O <sub>2</sub> (Saturazione) (%)			Salinità (‰)		
		Stazioni			Stazioni			Stazioni			Stazioni		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1993	media	14,975	15,042	14,092	189,58	171,67	135	113,17	101,83	106,33	27,417	27,917	22,5
	std	6,6629	6,6781	7,1651	26,325	25,879	26,458	24,241	32,752	20,632	4,926	4,3161	6,789
1998	media	15,838	15,662	15,385	158,46	164,62	151,54	89,154	90,846	105,77	23,231	24,077	23,231
	std	6,4996	6,562	7,0945	31,582	29,33	38,045	27,826	23,083	20,092	5,1665	3,8397	2,8034

Tale situazione risulta ancor più evidente se si analizzano le composizioni dei banchi macroalgali. Vengono espressi nei grafici (Fig. 3) i valori medi di biomassa per singola macroalga (g AFDW /m<sup>2</sup> ± dev.st). Nel 1998 rispetto al 1993 si può notare una generica diminuzione della biomassa più spiccata nella staz. 3 rispetto alle altre, ed una maggiore abbondanza di *Cladophora* particolarmente evidente sempre nella staz. 3. La conferma statistica di questi risultati viene dalla applicazione del test U di Mann-Whitney sulle abbondanze assolute delle singole specie macroalgali presenti stagionalmente nelle tre stazioni (Tab. 5).

Tabella 4 - Presenza dei taxa macroalgali nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

Stazione 1	1993				1998			
	INV	PRI	EST	AUT	INV	PRI	EST	AUT
taxa macroalgali								
<i>Gracilaria verrucosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ulva rigida</i>				*	*	*	*	*
<i>Cladophora</i>	*						*	*
<i>Ceramium</i>		*						
<i>Melosira moniliformis</i>	*	*						
Stazione 2								
taxa macroalgali								
<i>Gracilaria verrucosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ulva rigida</i>		*	*			*	*	*
<i>Cladophora</i>			*	*				*
<i>Ceramium</i>	*							
<i>Melosira moniliformis</i>	*							
Stazione 3								
taxa macroalgali								
<i>Gracilaria verrucosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ulva rigida</i>	*	*	*	*		*	*	
<i>Cladophora</i>	*			*	*	*	*	*
<i>Ceramium</i>								
<i>Melosira moniliformis</i>	*							

Tabella 5 - Confronto statistico (test U di Mann-Whitney) fra le abbondanze assolute (g biom/m<sup>2</sup>) delle singole macroalghe nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

	Gracilaria				Cladophora				Ulva			
	Inv93/ Inv98	Pri93/ Pri98	Est93/ Est98	Aut93/ Aut98	Inv93/ Inv98	Pri93/ Pri98	Est93/ Est98	Aut93/ Aut98	Inv93/ Inv98	Pri93/ Pri98	Est93/ Est98	Aut93/ Aut98
	St. 1	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
St. 2	ns											
St. 3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

*Componente macrobentonica*

In Tabella 6 sono riportati i taxa rinvenuti rispettivamente nelle stazioni 1, 2 e 3 nei due anni indagati; il numero di taxa raccolti nel 1998 è sempre inferiore a quello registrato nel 1993. I taxa coinvolti nell'impoverimento della comunità bentonica registrato nel 1998 risulta essere diversi a seconda della stazione considerata, sebbene in genere appartengano al gruppo dei bivalvi (es. *Mytilus galloprovincialis* e *Tapes philippinarum*) e dei gasteropodi (es. *Cyclope neritea*). Si verifica inoltre l'esplosione della specie *Musculista senhousia*, bivalve di origine orientale che nel 1993 risultava presente nella Sacca di Goro in quantità talmente basse da essere irrilevabile (Turolla, 1999), mentre nel 1998 compare in tutte le stagioni e in tutte le stazioni, senza quindi soluzione di continuità temporale e spaziale.

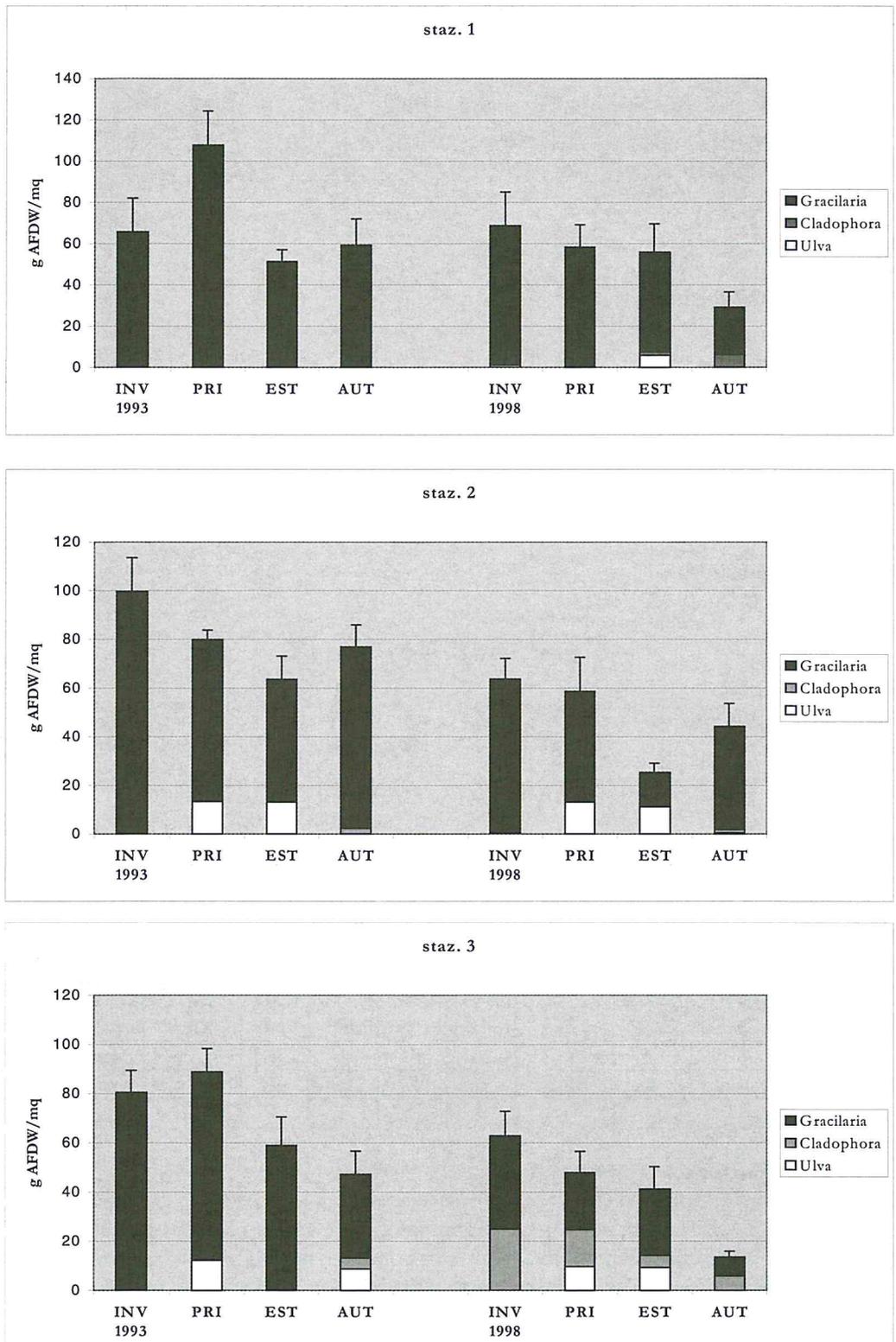


Figura 3 - Composizione dei banchi macroalgali nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

Tabella 6 - Presenza dei taxa macrozoobentonici nelle tre stazioni della Sacca di Goro (Il colore grigio indica la presenza del taxon).

Taxa macrozoobentonici		Stazione 1		Stazione 2		Stazione 3	
		1993	1998	1993	1998	1993	1998
Celenterati	Attinari	■	■	■	■	■	■
Platelminti	Turbellari	■	■	■	■	■	■
Gasteropodi	<i>Hydrobia</i> sp.	■	■	■	■	■	■
	<i>Hinia reticulata</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Haminaea by datis</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Bittium reticulatum</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Chrysalidasp.</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Crassostrea</i> sp.	■	■	■	■	■	■
	<i>Cyclope neritea</i>	■	■	■	■	■	■
Bivalvi	<i>Scapharca inaequivalvis</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Mytilaster minimus</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Cerastoderma glaucum</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Tapes philippinarum</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Tellinasp.</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Musculista senhousia</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Abra ovata</i>	■	■	■	■	■	■
Oligocheti		■	■	■	■	■	■
Policheti	<i>Spio decoratus</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Prionospio multibranchiata</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Hydroides dianthus</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Nereis succinea</i>	■	■	■	■	■	■
	Nereidi	■	■	■	■	■	■
	<i>Capitella capitata</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Nephtys hombergi</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Streblospio shrubsolii</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Polydora ciliata</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Eteone picta</i>	■	■	■	■	■	■
	Phyllodocidi	■	■	■	■	■	■
Hesionidi	■	■	■	■	■	■	
Decapodi	<i>Palaemon elegans</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Brachinotus sexdentatus</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Carcinus mediterraneus</i>	■	■	■	■	■	■
Isopodi	<i>Crangon crangon</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Idotea baltica</i>	■	■	■	■	■	■
Anfipodi	<i>Corophium insidiosum</i>	■	■	■	■	■	■
	<i>Gammarus</i> spp.	■	■	■	■	■	■
	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	■	■	■	■	■	■
Ostracodi		■	■	■	■	■	
Cirripedi	Balanidi	■	■	■	■	■	■
Ditteri	<i>Chironomus salinaris</i>	■	■	■	■	■	■
Urocordati	Ascidiacei	■	■	■	■	■	■
N. Taxa totali		34	32	34	29	29	25

Tabella 7 - Struttura delle comunità macrozoobentoniche nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

		Stazione 1				1993 Stazione 2				Stazione 3			
		Inv	Pri	Est	Aut	Inv	Pri	Est	Aut	Inv	Pri	Est	Aut
<b>Densità</b>	media	2887	2491	832	1865	1141	1196	2547	1138	1103	854	1588	2153
(N. ind/m <sup>2</sup> )	std	1201	1045	359	1367	552	729	654	358	706	452	129	735
<b>Diversità</b>		1.7	2.2	1.6	1.1	2.1	2.3	1.92	2.5	2.3	2.1	1.3	1.9
(H' Shannon)													
<b>Ricchezza spec.</b>		2.7	3.3	2.3	1.7	3.6	3.5	2.6	3.66	3.2	2	2.1	2.8
(D Margalef)													
<b>Eveness</b>		0.57	0.7	0.57	0.41	0.68	0.72	0.62	0.77	0.75	0.73	0.48	0.58
(J Pielou)													
<b>N. tot taxa</b>		22	27	15	15	23	25	21	25	22	17	17	21
		Stazione 1				1998 Stazione 2				Stazione 3			
		Inv	Pri	Est	Aut	Inv	Pri	Est	Aut	Inv	Pri	Est	Aut
<b>Densità</b>	media	6322	8879	1652	4362	3425	9345	1654	1132	7298	4041	308	5131
(N. ind/m <sup>2</sup> )	std	1524	392	331	1275	134	379	1736	114	478	309	276	133
<b>Diversità</b>		1.54	1.4	0.6	1.8	2.18	1.54	0.6	2.3	1.7	2.1	1.17	1.8
(H' Shannon)													
<b>Ricchezza spec.</b>		2.4	2	1.4	1.82	2.7	2.2	1.4	2.4	2.4	1.7	0.7	1.7
(D Margalef)													
<b>Eveness</b>		0.5	0.5	0.3	0.68	0.68	0.52	0.3	0.79	0.55	0.77	0.72	0.68
(J Pielou)													
<b>N. tot taxa</b>		21	19	11	15	22	20	11	17	21	16	6	14

La sua esplosione è dettata dalla forte competitività per il substrato che contraddistingue questo mollusco (produzione di bisso e modificazione della tessitura del substrato stesso), nonché dalla sua resistenza a stress ambientali, caratteristiche che hanno permesso a questa specie di colonizzare, dopo un periodo di latenza iniziale, in modo rapido ed efficace l'ambiente a scapito dei bivalvi prima citati (Crooks, 1996).

Nella Tabella 7 vengono riportati i parametri relativi alla struttura delle comunità macrozoobentoniche.

Dal punto di vista della densità animale (espressa come  $n^{\circ} \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ) i due anni appaiono ulteriormente differenti. Dai dati raccolti risulta chiaro un incremento (significativo al test U di Mann-Whitney) della densità macrozoobentonica nel 1998 in tutte le stazioni ad eccezione dell'estate nelle stazioni 2 e 3 e dell'autunno nella 2. Nel 1993 il massimo di densità è stato registrato nel periodo invernale nella stazione 1. Durante il 1998 invece il picco si raggiunge in primavera nella stazione 2. Un altro dato rilevante appare essere, sempre nel 1998, una variazione di densità molto più marcata nei diversi momenti stagionali in tutte le stazioni rispetto al 1993, (variabilità intra-gruppi maggiore di quella fra gruppi, Test U di Mann-Whitney). Il risultato ottenuto sembra confermare l'ipotesi emersa dall'analisi dei dati di presenza-assenza animale secondo cui nel 1998, cioè in seguito all'evento di disturbo, vengono enfatizzate le differenze tra i vari periodi dell'anno, piuttosto che quelle legate alle tre zone della Sacca scelte per l'indagine.

La diversità macrozoobentonica si assesta sempre su valori inferiori nel 1998; tale risultato deve essere principalmente imputato ad una diminuzione dell'indice di ricchezza in specie dovuto ad un decremento totale del numero di taxa, piuttosto che ad una variazione dell'indice di eveness.

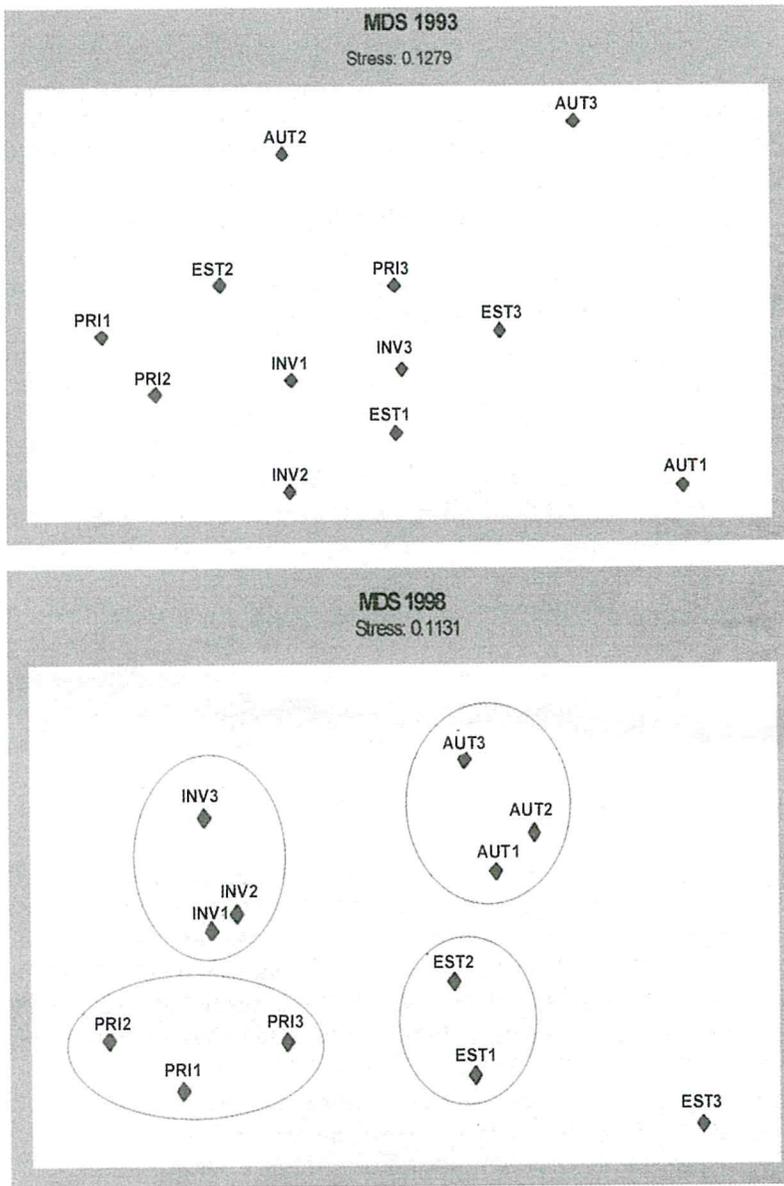


Figura 4 - Analisi multivariata (MDS) della struttura delle comunità macrozoobentoniche rinvenute nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

ta in modo distinto da quelle delle altre due stazioni controllate nella stessa stagione. Questo ultimo risultato è spiegabile alla luce dalla particolare posizione della stazione 3 nella Sacca di Goro.

La laguna è infatti soggetta periodicamente a crisi distrofiche con associati fenomeni di ipossia delle sue acque, a volte spinte fino alla anossia, aggravate dalle alte temperature estive. Tale fenomeno è particolarmente accentuato in quella zona della Sacca denominata Valle di Gorino, riparata dall'influenza vivificatrice del mare.

La stazione 3 è posizionata proprio in tale Valle, di conseguenza la comunità animale associata al sedimento di questa zona potrebbe aver risentito più delle altre dei minor valori di ossigeno disciolto. Tale risultato evidenzia come il potenziale apporto di acqua *vivificante* dal mare, che dovrebbe entrare dalla nuova bocca, non sortisce l'effetto desiderato infatti il numero dei taxa presenti nell'estate 1996 è inferiore a quelli rinvenuti nella stessa stagione del 1993 (17 contro 6) e anche in termini

Il risultato ottenuto attraverso l'applicazione dell'analisi multivariata M.D.S. (Fig. 4) ai dati di densità della comunità animale associata al sedimento nudo.

Nel 1993 i punti-campione, corrispondenti alle singole stazioni nelle varie stagioni, non appaiono essere distribuiti in clusters, ossia raggruppamenti di punti caratterizzati rispettivamente da comunità simili; gli unici punti-campione che si discostano dalla nuvola principale, sono quelli relativi alla stazione 1, alla stazione 2 e alla stazione 3 nel periodo autunnale, come emerso, sebbene solo chiaramente per la stazione 2, precedentemente anche dall'analisi strutturale.

Appare a questo punto evidente un effetto del disturbo che ha interessato la Sacca di Goro sulle comunità di tutte le stazioni sotto controllo.

Nel 1998 infatti si individuano quattro clusters ben distinti, corrispondenti alle tre stazioni nelle quattro stagioni dell'anno, da questi raggruppamenti si discosta

la comunità della stazione 3 relativa al periodo estivo, che appare quindi struttural-

di densità si osserva un decremento del valore.

Da notare inoltre come proprio nella stazione 3 nel 1998 si assista al bloom algale della *Cladophora*, come precedentemente descritto, un'alga verde filamentosa che, per caratteristiche morfologiche, tende a formare un strato uniforme al di sopra del sedimento, impedendo in parte o del tutto gli scambi gassosi (vedi ossigeno) tra il sedimento e la colonna d'acqua influenzando la componente macrobentonica associata al sedimento stesso.

La presenza di clusters corrispondenti alle diverse stagioni del 1998 sul piano bidimensionale tracciato attraverso l'M.D.S., conferma quanto detto fino ad ora e accentua in modo ancor più evidente

**Tabella 8 - Analisi delle similarità: valori di R e significatività dei confronti a coppia.**

confronto	1993	1998
	R = 0,043	R = 0,37
inv/pri	NS	NS
inv/est	NS	p<0,01
inv/aut	NS	p<0,01
pri/est	NS	p<0,01
pri/aut	NS	p<0,01
est/aut	NS	p<0,01

l'effetto stagione sulle comunità; effetto che non può invece essere sottolineato nel 1993.

In sostanza da quanto emerso dalle analisi effettuate nel 1998 si è venuta a creare una sorta di omogeneizzazione delle comunità bentoniche proprie delle tre stazioni, fenomeno non evidenziabile nel 1993. Nella tabella 8 sono riportati i risultati del test ANOSIM per gli anni 1993 e 1998. Il valore di R per il 1993 è risultato pari a 0,043, quindi compreso all'interno della distribuzione di valori di R ottenuta mediante permutazioni casuali, e conseguentemente l'ipotesi zero non può essere rigettata, cioè non vi sono differenze stagionali tra i vari siti. Diversa è la situazione per il 1998, dove R (0,37) si colloca al-

l'estremità destra della distribuzione dei valori ottenuta mediante permutazioni casuali, e quindi  $H_0$  può essere rigettata con  $p < 0,01$ . L'analisi dei confronti a coppie dimostra che, mentre per il 1993 i confronti tra le varie stagioni non sono significativi, nel 1998 sono tutti significativi tranne che per la coppia inverno/primavera.

Dal punto di vista funzionale (Fig. 5) nel 1993 nella stazione 1 dominano la comunità i grazers (GR) e i sub surface deposit feeders (SSDF); nel 1998 invece la comunità sembra più differenziata soprattutto nel periodo autunnale, probabilmente perché in questa stagione maggiormente si risente del rimescolamento delle acque. Durante quest'anno di prelievi si è registrato, inoltre, un considerevole aumento della percentuale dei suspension feeders (SF) rispetto al 1993, probabilmente dovuto all'ingresso di una quantità maggiore di particolato favorito dalla apertura della seconda bocca a mare.

Nella stazione 2 non è possibile evidenziare il medesimo incremento nella differenziazione della struttura funzionale della comunità nel 1998 rispetto al 1993, mentre aumentano in modo marcato, soprattutto nel periodo estivo, i suspension feeders (SF), così come registrato nella stazione 1.

Anche nella stazione 3 si nota un incremento del gruppo funzionale dei suspension feeders (SF) nel 1998 rispetto al 1993 pur mantenendo una certa importanza il gruppo dei surface deposit feeders (SDF).

In questa stazione la comparsa in quantità abbondanti della macroalga *Cladophora* non è accompagnata dall'aumento del gruppo dei grazers (GR), naturali utilizzatori di questa fonte nutrizionale.

## Conclusioni

La evoluzione morfologica dello scanno in parte naturale, in parte dovuta alle modificazioni indotte dall'uomo, ha determinato

- un considerevole aumento dell'ampiezza del taglio su di esso effettuato nei primi anni '90;
- un restringimento della vecchia bocca a mare verso Volano.

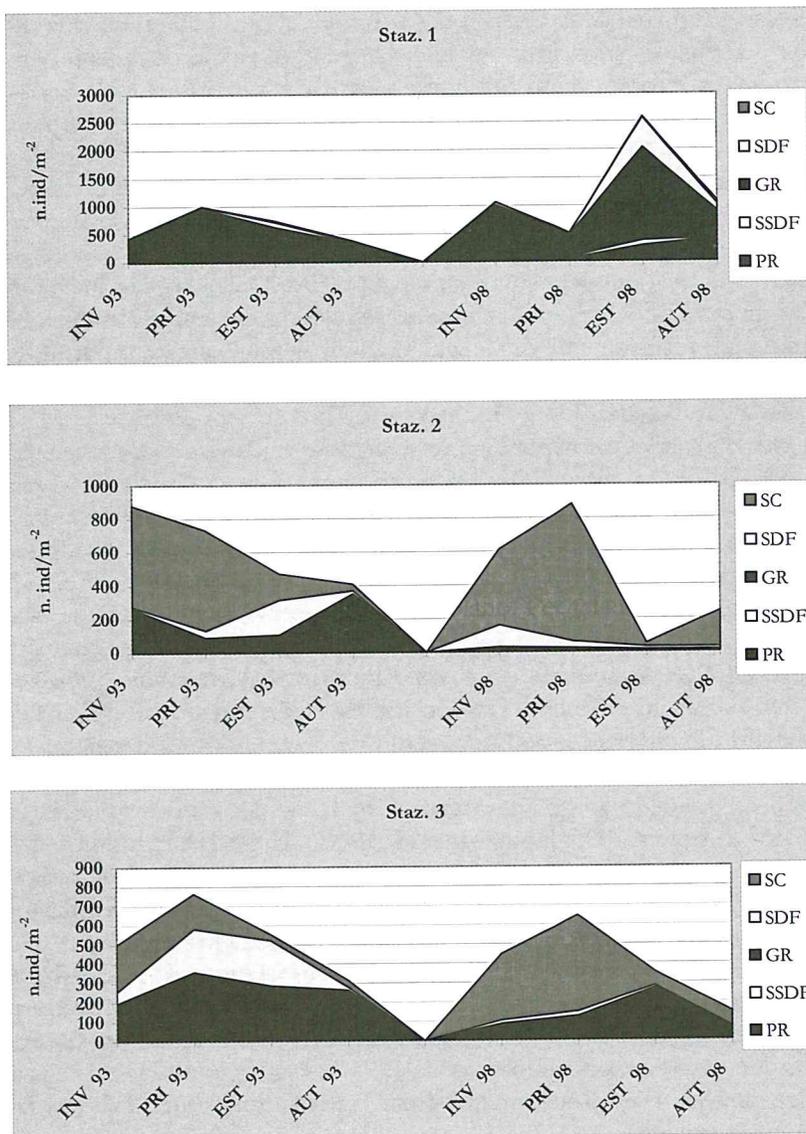


Figura 5 - Composizione in gruppi trofici delle comunità macrozoobentoniche nelle tre stazioni della Sacca di Goro.

Tale situazione ha senza dubbio modificato l'originale idrodinamismo della laguna ma questo non ha eliminato gli eventi anossici che hanno caratterizzato e tuttora caratterizzano la parte orientale della Sacca di Goro. La nuova apertura, che per la sua attuale estensione si può considerare alla stregua di una nuova bocca a mare, ha determinato modificazioni dirette ed indirette connesse alle variazioni idrodinamiche, fra queste le più importanti sembrano essere.

1. l'affermarsi della macroalga pleustofitica *Cladophora*, precedentemente solo sporadica nella Sacca;
2. l'affermarsi di un bivalve esotico, *Musculista senhousia* che in precedenza era presente con densità talmente basse da essere irrilevabile con le consuete metodologie di campionamento;
3. la perdita della peculiarità delle varie zone della Sacca, che risultano influenzate, relativamente ai parametri abiotici e alla struttura delle comunità macrobentoniche, non tanto da caratteristiche intrinseche legate alla localizzazione nella laguna, quanto dagli eventi stagionali.

Per quanto riguarda l'affermarsi della Cloroficea *Cladophora* questo può essere dovuto alle caratteristiche intrinseche dell'alga. E' stato infatti evidenziato che in casi di incipiente eutrofizzazione il primo genere che prende il sopravvento sulle altre macroalghe pleustofite è *Ulva*, solo in tempi successivi questo è soppiantato dal genere *Cladophora* (Wallentinus, 1985) che risulta più fortemente nitrofilo (Thybo-Christesen e Blackbum, 1993) del già nitrofilo genere *Ulva* (Viaroli et al., 1993) e competitivamente avvantaggiato dalla presenza di quantità consistenti di nutrienti sia nei confronti di *Ulva* (Pihl et al., 1996) che nei confronti di *Gracilaria* (Peckol et al., 1994). Questo è probabilmente avvenuto nella parte orientale della Sacca di Goro quando ai già ingenti apporti dal Po di Goro (Chiaudani e Marchetti, 1984) si sono sommati gli apporti dal mare aperto, anch'esso ricco in nutrienti (Fonda Umani et al., 1992), con il quale sono assicurati gli scambi dalla nuova apertura. Il bivalve *Musculista senhousia*, relativamente di recente ha notevolmente ampliato il proprio areale di diffusione raggiungendo da una parte il nord America (costa occidentale, Kincaid 1947; costa orientale, Carlton e Geller 1993) dall'altra il Mar Mediterraneo (Hoenselaar e Hoenselaar, 1989).

La specie risulta essere invasiva e competitore avvantaggiato in quanto modifica la tessitura del substrato mediante le emissioni di filamenti di bisso che rendono inaccessibile il sedimento al settling di altre specie di bivalvi. In genere il successo delle specie invasive viene contrastato dalla disponibilità nutrizionale, infatti l'ingresso in un ambiente di un ulteriore consumatore riduce l'abbondanza totale delle risorse disponibili per ogni singola specie (Abrams, 1996), nel caso della Sacca di Goro invece l'apertura della nuova bocca a mare e l'ingresso, attraverso questa, di acque ricche in nutrienti, oltre che la presenza di quantità di materiale organico particolato derivante dalla decomposizione dei letti macroalgali di *Cladophora*, hanno sostenuto in termini nutrizionali la specie invasiva e ne hanno consentito lo stabile insediamento nell'ecosistema. L'incremento del materiale organico particolato è testimoniato indirettamente dall'incremento nel 1998 dell'importanza della categoria funzionale degli scrapers per quanto riguarda le comunità macrobentoniche, infatti tale gruppo funzionale si nutre prevalentemente di epifiti che risultano influenzati positivamente dalla disponibilità di nutrienti (Danovaro e Fabiano, 1995; Jernakoff et al., 1996). Anche l'aumento in termini percentuali dei suspensions feeders nelle comunità associate al sedimento nudo indica una maggiore disponibilità nutrizionale nel 1998, questo gruppo funzionale infatti è direttamente influenzato dalla quantità di particolato sospeso nella colonna d'acqua in quanto fonte trofica principale.

Infine è stato possibile evidenziare nel 1998 una marcata omogeneizzazione delle comunità macrobentoniche infatti mentre le passato era marcato l'effetto stazione, nel 1998 risulta preponderante nella strutturazione delle comunità l'effetto stagione, in altri termini si perdono le caratteristiche peculiari delle varie zone della Sacca (Colombo et al., 1994) a vantaggio di una risposta precisa alla variabilità stagionale, risposta che risulta molto simile, come dimostrato dalla analisi multivariata (MDS) per tutte e tre le stazioni.

## Bibliografia

- Abrams P.A. (1996) - *Evolution and the consequences of species introductions and deletions*. Ecology 77: 1321-1328.
- Canfield D.E., Jorgensen B.B., Fossing H., Glud R., Gundersen J., Ramsing N.B., Thamdrup B., Hansen J.W., Nielsen L.P. and Hall P.O.J. (1993) - *Pathways carbon oxidation in three continental margin sediments*. Mar. Geol. 113: 27-40.
- Carlton J.T. and Geller J.B. (1993) - *Ecological roulette: The global transport of non-indigenous species*. Science 261: 78-82.
- Clarke K. R. (1993) - *Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure*. Aust. J. Ecol. 18, 117-143.
- Chiaudani G. and Marchetti R. (1984) - *Po River*. In: Ecology of European rivers. pp. 401-436. A cura di B.A. Whitton. Blackwell Sc. Publ.
- Chuang S.H. (1961) - *On Malayan shores*. Muwu Shosa, Singapore.
- Colombo G., Bisceglie R., Zaccaria V. e Gaiani V. (1994) - *Variazioni spaziali e temporali delle caratteri-*

- stiche chimico-fisiche delle acque e della biomassa fitoplanctonica della Sacca di Goro* In: Sacca di Goro. Uno studio integrato sull'ecologia. 2° anno di ricerche. pp. 9-82. A cura di S. Bencivelli, N. Castaldi, D. Finessi. FrancoAngeli Ed.
- Crooks J.A. (1996) - *The population ecology of an exotic mussel, Musculista senhousia, in a southern California bay*. Estuaries 19: 42-50
- Danovaro R. and Fabiano M. (1995). *Seasonal and inter-annual variation of bacteria in a seagrass bed of the Mediterranean Sea: relationship with labile organic compounds and other environmental factors*. Aquat. microb. Ecol. 9: 17-26.
- Diaz R.J. and Rosenberg R. (1995) - *Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna*. Ocean. and Mar. Biol.: an Annual Review 33: 245-303.
- Fonda-Umani S., Franco P., Ghirardelli E. and Malej A. (1992) - *Outline of oceanography and the plankton of the Adriatic Sea*. In Marine Eutrophication and Population dynamics. pp. 347-366. A cura di G. Colombo, I. Ferrari, V. Ceccherelli, and Rossi R. Olsen & Olsen.
- Hoenselaar H.J. and Hoenselaar J. (1989) - *Musculista senhousia in the western Mediterranean*. Basteria 53: 73-76.
- Jernakoff P., Brearley A. and Nielsen J. (1996) - *Factors affecting grazers-epiphyte interactions in temperate seagrass meadows*. Ocean. and Mar. Biology: an Annual Review 34: 10-162.
- Kincaid T. (1947) - *The acclimatisation of marine animals in Pacific north-western waters*. Mar. Council. Cl. of South. Calif. 72: 1-3.
- Pambianchi P. (1987). *Sacca di Goro: inquadramento morfologico-deposizionale finalizzato allo studio del ruolo dei sedimenti nei processi di eutrofizzazione*. Univ. Di Ferrara Tesi di laurea inedita.
- Pearson T.H. and Rosenberg R. (1978) - *Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment*. Ocean. and Mar. Biol.: an Annual Review 16: 229-311.
- Peckol P., DeMeo-Anderson B., Rivers J., Valiela I., Maldonado M. and Yates J. (1994) - *Growth, nutrient uptake capacities and tissues constituents of the macroalgae Cladophora vagabunda and Gracilaria tikvahiae related to site-specific nitrogen loading rates*. Marine Biology 124: 175-185.
- Pihl L., Magnusson G., Isaksson I. and Wallentinus I. (1996) - *Distribution and growth dynamics of ephemeral macroalgae in shallow bays on the Swedish west coast*. J. Sea Res. 35: 169-180.
- Raffaelli D.G., Raven J.A. and Poole L.J. (1998) - *Ecological impact of green macroalgal blooms*. Ocean. and Mar. Biol.: an Annual Review 36: 97-125.
- Schramm W. and Nienhuis P.H. (eds.) (1996) - *Marine benthic vegetation: recent changes and the effects of eutrophication*. Springer, Berlin, 463 pp.
- Thybo-Christesen M. and Blackburn T.H. (1993) - *Internal N-cycling, measured by  $^{15}\text{NH}_4^+$  dilution, in Cladophora sericea in a shallow Danish bay*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 100: 283-286
- Turolla E. (1999) - *Nuovi ospiti per la Sacca di Goro*. Laguna 4: 23-28.
- Viaroli P., Naldi M., Christian R.R. and Fumagalli I. (1993) - *The role of macroalgae and detritus in nutrient cycles in a shallow-water dystrophic lagoon*. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25:1048-1051
- Wallentinus I. (1984) - *Comparison of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies*. Mar. Biol. 80: 215-225.

Manoscritto ricevuto il 10/12/1999, accettato il 26/3/2000.