Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Geneva: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 501 - 522

MORFODINAMICA DEL LITORALE DI TERRACINA NELL'INTERVALLO TEMPORALE 1981-1993

Gian Camillo CORTEMIGLIA e Federico PAGLIAI

Dipartimento di Scienze della Terra, Sezione di Geologia,
Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova, Italia

RIASSUNTO

L'esame di rilievi batimetrici della spiaggia sommersa di Terracina nel suo tratto compreso tra il porto di Terracina e la foce del Sisto ha consentito di verificare, su 22 profili batimetrici condotti trasversalmente alla riva con interasse di 400 m, l'evoluzione subita dalle caratteristiche fisiografiche (pendenza, geometria e punto di inflessione) durante 1'intervallo temporale 1981-1993.

II confronto tra i rilievi batimetrici eseguiti negli anni 1981, 1983, 1984, 1985, 1986,1989, 1990 e!992 (Tavole da 1 a 11), ha inoltre permesso di stimare le variazioni morfologiche subite dalla fascia di spiaggia sottomarina compresa tra la battigia e l'isobata dei 10 metri.

Una serie di campagne sedimentologiche con prelevamento di campioni di fondo mobile ha inoltre consentito di ricostruire 1'evoluzione delle caratteristiche tessiturali del sedimento di spiaggia sommersa e l'andamento della relativa dinamica litorale.

ABSTRACT

Twenty-two bathymetric profiles of the submerged beach of Terracina, between Terracina harbour and the mouth of the river Sisto, at right angles with the shoreline and 400 m from each other, have been studied in order to assess the evolution of physiographic features (slope, geometry and inflexion point) in the time span 1981-1993.

The comparison between the bathymetric reliefs carried out in the years 1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1989, 1990 and 1992 (Tabs. 1 to 11), moreover, has supplied an estimate of morphological changes of the submerged beach between the shoreline and the 10 m isobath.

A sequence of sedimentological campaigns, during which samples of the mobile bottom were collected, has made it possible to reconstruct the evolution of textural characters of the submerged beach sediment and the unfolding of the attendant littoral dynamics.

1. INTRODUZIONE

La spiaggia di Terracina, compresa tra il Porto Canale e la foce del Sisto, comincio ad entrare significativamente in erosione nel 1971 e gia nel 1973 le mareggiate provocarono la demolizione di quasi tutti gli stabilimenti balneari allora presenti, sinchè nel 1975 anche le opere strutturali di difesa della passeggiata vennero interessate da parziali fenomeni di crollo dovuti all'azione delle mareggiate.

II forte arretramento cosi subito dall'arenile porto quindi il mare nel 1980 a diretto contatto con il muro di sostegno della passeggiata a mare, per cui la spiaggia emersa risulto praticamente completamente demolita.

Tale stato erosivo comporto conseguentemente nel 1981 un preliminare limitato intervento sperimentale di ripascimento, per un totale di 100.000 m^3, utilizzando ghiaietto di frantoio (brecciolino) di natura carbonatica a classe granulometrica tra 5 e 20 mm, a cui seguirono, successivamente, due massicce campagne di ripascimento, appositamente programmate per ricostruire 1'arenile eroso ed effettuate rispettivamente negli intervalli temporali 1982-1985 e 1989-1991 per un totale complessivo di circa 500.000 m^3.

Durante il periodo temporale 1980-1993, comprendente i precitati interventi, sono stati eseguiti, alla scala 1:5.000 con le modalità descritte da Cortemiglia (1978), i rilievi batimetrici di precisione riportati nelle Tavole da 1 ad 11 e sono state effettuate le campagne sedimentologiche riportate nella Tabella 5, per cui, sulla base dei risultati ottenuti, si possono ricostruire le caratteristiche idrodinamiche del paraggio verificando in particolare, sia le variazioni morfologiche della spiaggia sommersa avvenute durante i precitati periodi erosivi e di ripascimento, sia la relativa dinamica del materiale e la sua mobilizzazione sul fondale.

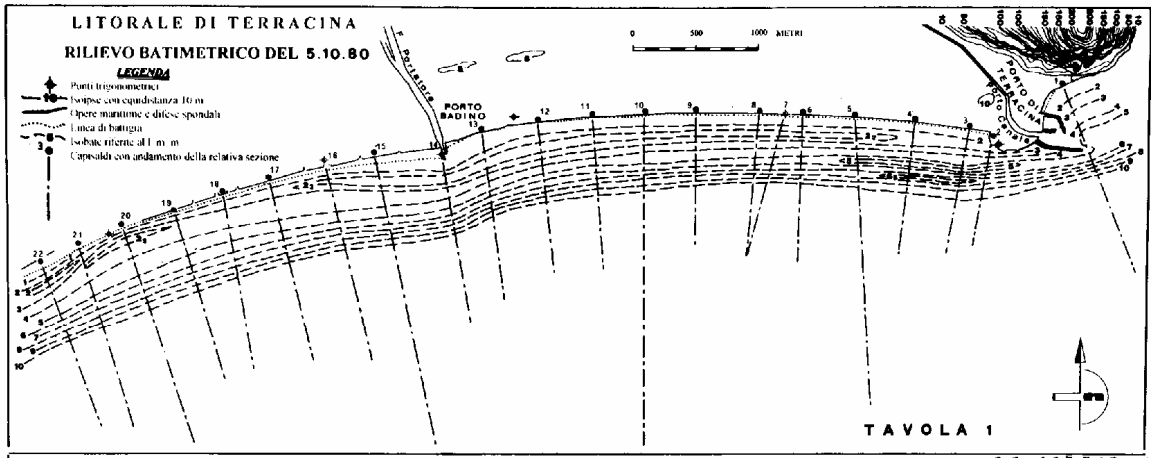
Siffatta tipologia di indagine e stata quindi sviluppata e volta alla determinazione delle caratteristiche dell'assetto od aspetto morfologico del litorale che si configura, come proposto da Cortemiglia (1994), nella determinazione dell'assetto od aspetto fisiografico e dell'assetto od aspetto morfodinamico.

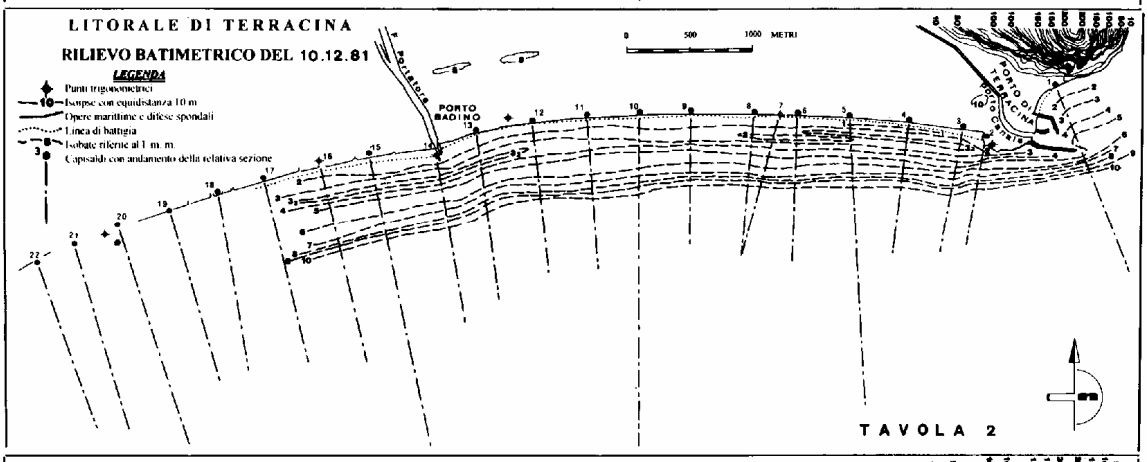
2. ASPETTO OD ASSETTO FISIOGRAFICO DEL LITORALE

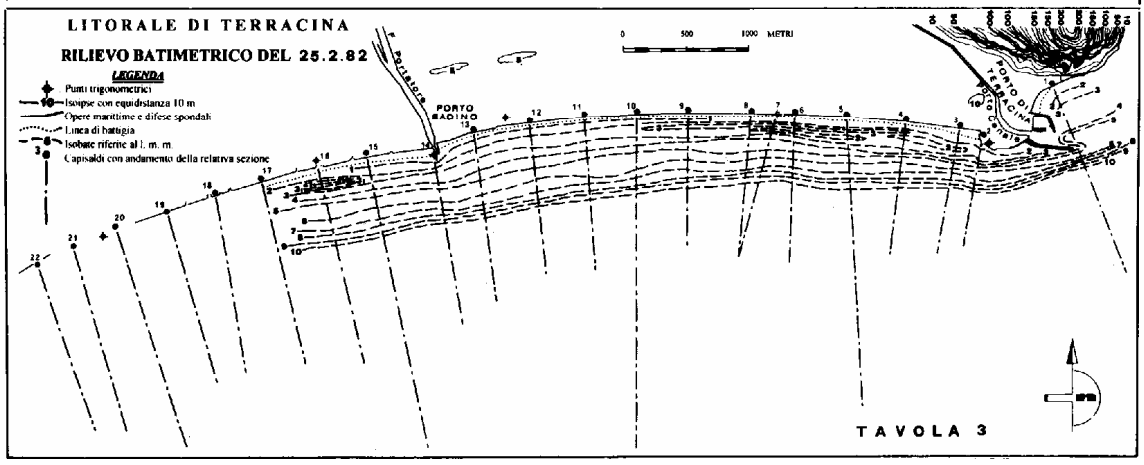
Le caratteristiche dell'aspetto fisiografico della spiaggia di Terracina sono state analizzate determinando, per ciascuno dei rilievi batimetrici riportati nelle Tavole da 1 ad 11, sia la dimensione frattale della lunghezza della linea di battigia, sia le caratteristiche morfobatimetriche dei profili trasversali alla riva ripetuti sempre con le stesse azimutali della linea di rotta, dai medesimi capisaldi, posti ad interasse medio di 400 m ed i cui numeri di individuazione sono stati riportati sulle precitate Tavole da 1 ad 11.

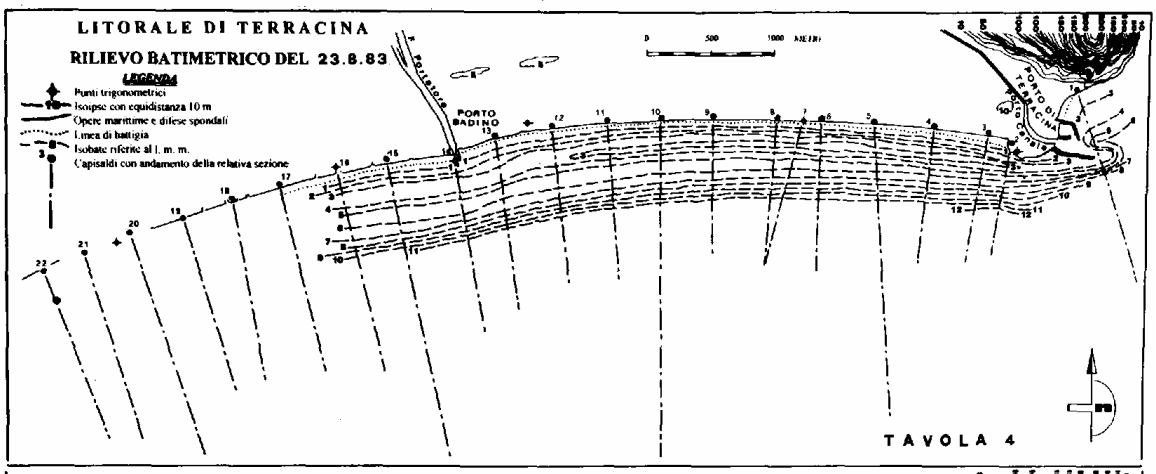
2.1. Morfologia della linea di battigia

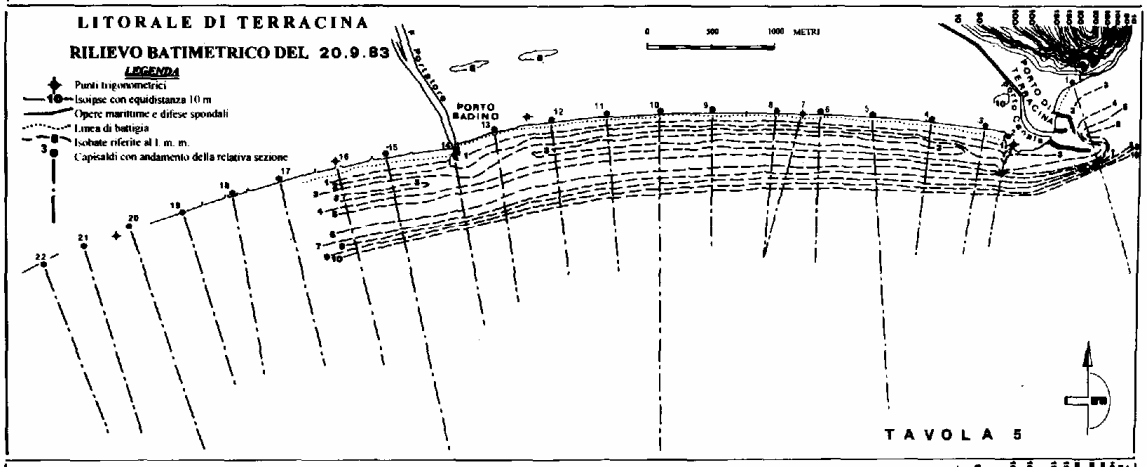
La dimensione frattale delle lunghezze della linea di battigia dei rilievi di cui alle Tavole da 1 ad 11 e stata eseguita su cartografie alla scala 1:5.000 e condotta, secondo le indicazioni proposte da Cortemiglia (1992 e 1993), sulla base del procedimento di

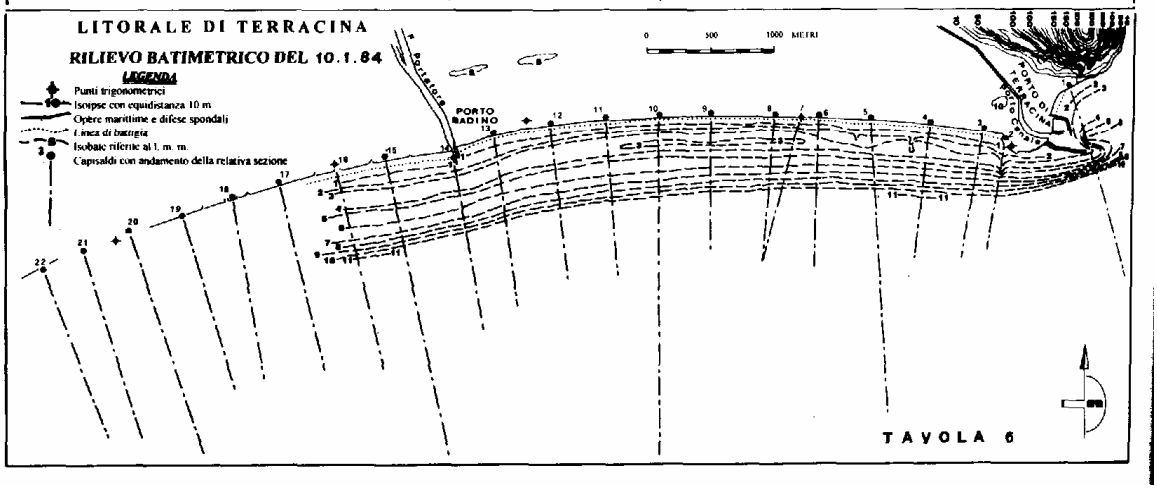

LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 5.10.80
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isopse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al l. m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO BADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 1

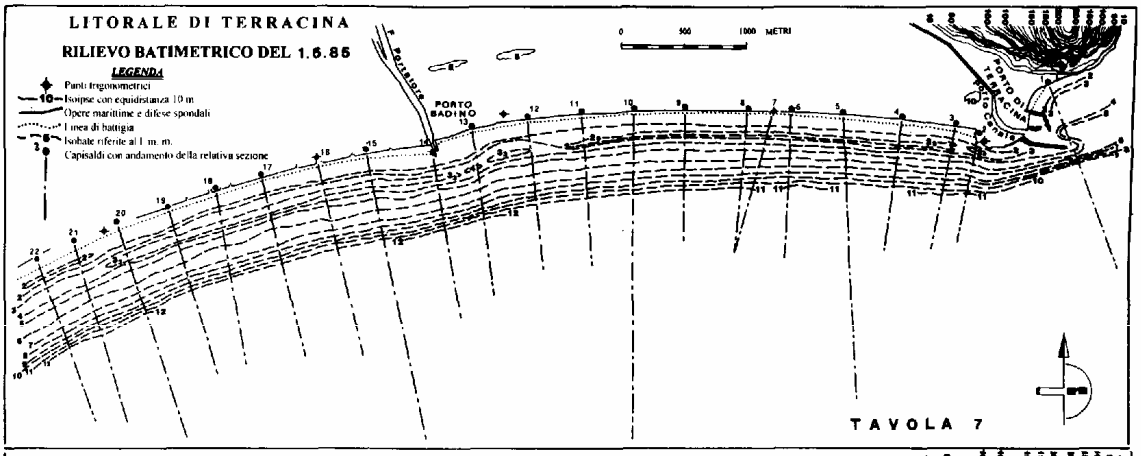

LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 10.12.81
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isopse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al l. m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO BADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 2

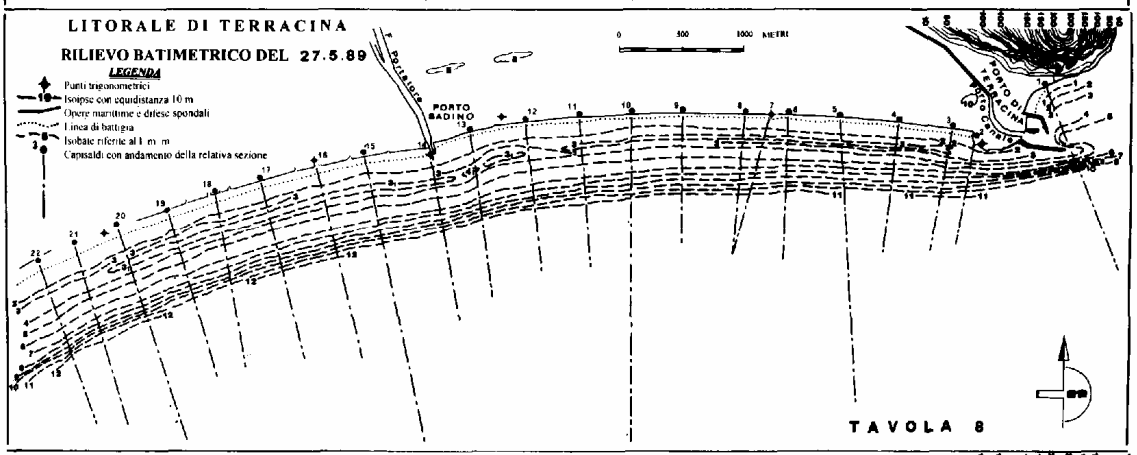

LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 25.2.82
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isopse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al l. m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO BADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 3

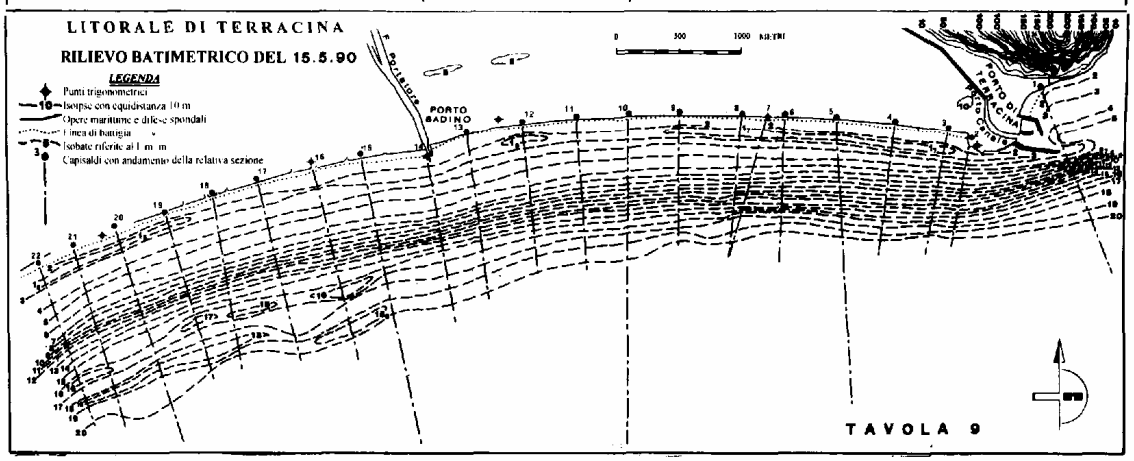

LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 23.8.83
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isoipse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al l. m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO RADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 4

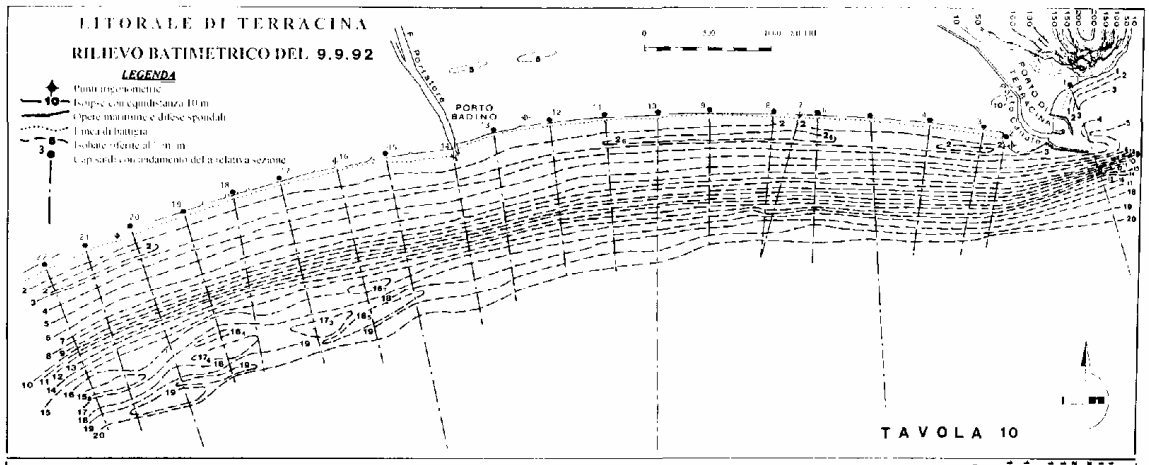

LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 20.9.83
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isoipse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al l. m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO RADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 5

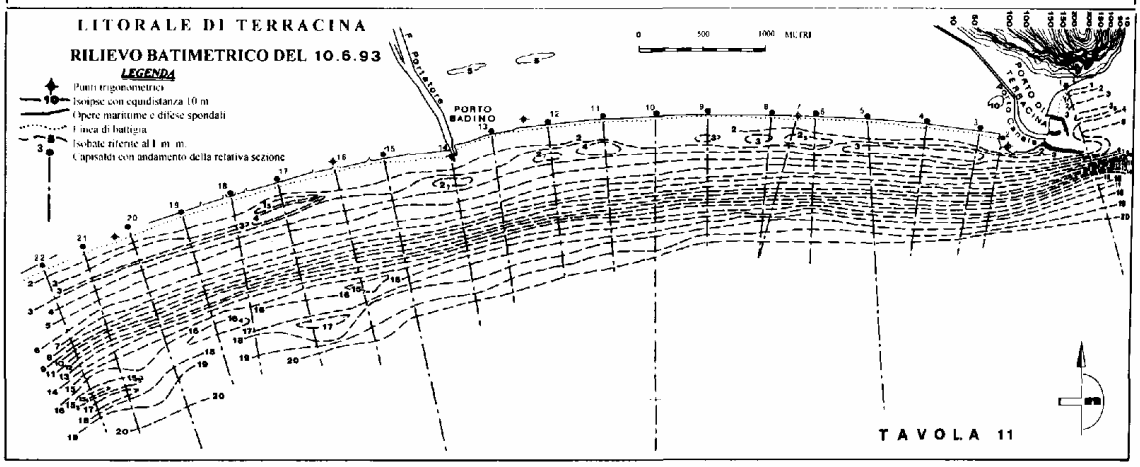

LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 10.1.84
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isoipse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al l. m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO RADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 6


LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 1.6.86
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isoipse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al 1 m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO BADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 7


LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 27.5.89
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isoipse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al 1 m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO BADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 8


LITORALE DI TERRACINA
RILIEVO BATIMETRICO DEL 15.5.90
LEGENDA
Punti trigonometrici
Isoipse con equidistanza 10 m
Opere marittime e difese spondali
Linea di battigia
Isobate riferite al 1 m. m.
Capisaldi con andamento della relativa sezione
0 500 1000 METRI
PORTO BADINO
PORTO DI TERRACINA
TAVOLA 9





Richardson (1961) e di Mandelbrot (1967 e 1987) adottando passi di misura il cui valore inferiore e superiore utilizzato rientra nell'intervallo dimensionale dipendente dal valore N di volte con cui bisogna moltiplicare il passo per ottenere la lunghezza totale ricercata.

La Fig. 1 riporta i risultati ottenuti per ciascun rilievo esaminato (Tavole da 1 a 11) su diagramma cartesiano, da cui emerge chiaramente che la spiaggia di Terracina presenta tre netti intervalli temporali (5.10.1980-10.12.1981; 1.6.1985-15.5.1990; 9.9.1992-10.6.1993) in cui la dimensione frattale della lunghezza della linea di battigia diminuisce di valore, indicando quindi chiaramente che, in tali periodi temporali, diminuisce il grado di articolazione o di irregolarità della battigia a cui corrisponde una situazione caratterizzata da fasi di erosione o di depauperamento della spiaggia sommersa, mentre, al contrario, nei restanti intervalli temporali, l'aumento della dimensione

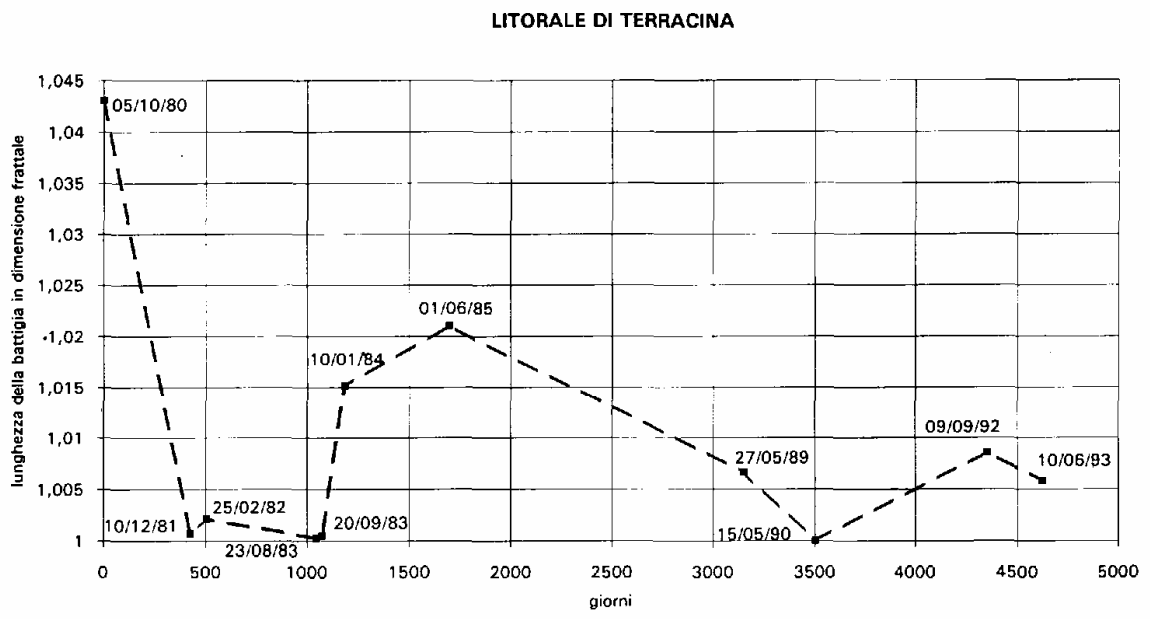


Fig. 1 - Diagramma dell'andamento temporale della dimensione frattale della lunghezza della linea di battigia compresa tra le sezioni 2 e 22 con cui sono stati realizzati i rilevamenti batimetrici riprodotti nelle Tavole da 1 ad 11.

frattale della lunghezza della linea di battigia corrisponde a fasi di accrescimento o di ripascimento del fondali.

2.2. Morfobatimetria dei fondali

L'analisi morfobatimetrica dei fondali e stata redatta su ciascuna delle sezioni trasversali alla riva dei rilievi indicati sulle Tavole da 1 ad 11 secondo la metodologia descritta da Cortemiglia (199la e 1991b), calcolando la pendenza del profilo, la geometria del profile e la distanza dalla battigia del punto di inflessione del profilo.

La Tabella 1 riporta il quadro sinottico per i vari profili trasversali di ciascun rilievo, da cui si deduce che, in corrispondenza dei precitati periodi erosivi, la pendenza tende a diminuire, mentre in corrispondenza delle fasi di ripascimento la pendenza tende ad aumentare, per cui si può ritenere che 1'aumento o la diminuzione della pendenza media sulla spiaggia sommersa di Terracina segnali rispettivamente 1'esistenza di condizioni di progradazione o di erosione.

La Tabella 2 riporta il quadro sinottico delle risultanze ottenute sulla geometria dei profili per le stesse sezioni esaminate nella Tabella 1, da cui si evince che durante i precitati periodi erosivi la morfologia del profilo tende a passare da convessa a lineare ed a concava, mentre la successione da concavo o convesso a lineare si verifica in concomitanza di periodi di ripascimento della spiaggia sommersa.

Tab. 1 - Pendenze in gradi per ognuna delle 22 sezioni batimetriche ripetute per ciascun rilievo di cui alle Tavole da 1 a 11.

LITORALE DI TERRACINA											
SEZIONI	RILIEVI BATIMETRICI										
	5/10/80	10/12/81	25/02/82	23/08/83	20/09/83	10/01/84	01/06/85	27/05/89	15/05/90	09/09/92	10/06/93
1	0,654	0,661	0,853	0,489	0,521	0,594	0,631	0,717	0,783	1,073	1,079
2	1,286	1,500	1,418	1,417	1,382	1,389	1,382	1,503	1,508	1,505	1,519
3	1,078	1,148	1,328	1,309	1,237	1,250	1,198	1,275	1,418	1,463	1,433
4	1,075	1,093	1,047	1,087	1,069	1,131	1,194	1,216	1,303	1,319	1,322
5	1,102	1,043	1,000	1,035	1,032	1,081	1,130	1,075	0,771	0,831	1,315
6	1,110	1,036	1,025	0,992	1,003	1,047	1,106	1,025	1,301	1,224	1,238
7	1,111	0,960	0,956	0,891	0,923	0,914	0,994	0,842	1,200	1,219	1,216
8	1,102	0,954	0,937	0,968	0,967	0,960	1,071	1,010	1,210	1,207	1,226
9	1,045	1,035	0,926	0,941	0,935	0,968	1,043	1,037	1,213	1,207	1,232
10	0,985	0,944	0,866	0,898	0,922	0,902	0,978	0,971	0,646	0,660	1,103
11	0,965	0,845	0,805	0,835	0,872	0,867	0,994	0,882	1,104	1,080	1,091
12	0,926	0,876	0,826	0,891	0,878	0,891	0,963	0,878	1,050	1,082	1,071
13	0,869	0,885	0,834	0,824	0,788	0,817	0,926	0,896	1,014	1,021	1,037
14	0,963	0,909	1,037	0,904	0,851	0,896	0,991	0,978	1,031	1,044	1,047
15	0,865	0,904	0,970	0,831	0,852	0,889	0,916	0,963	0,574	0,587	0,840
16	0,774	0,709	0,890	0,809	0,783	0,851	0,841	0,832	0,899	0,822	0,831
17	0,888	-	-	-	-	-	0,934	0,871	0,890	0,874	0,896
18	0,843	-	-	-	-	-	0,936	0,847	0,949	0,927	0,976
19	0,841	-	-	-	-	-	0,921	0,816	0,918	0,916	1,031
20	0,739	-	-	-	-	-	0,867	0,836	0,522	0,537	0,733
21	0,849	-	-	-	-	-	0,910	0,866	0,815	0,832	0,832
22	0,862	-	-	-	-	-	0,880	0,791	0,901	0,901	0,907

La Tabella 3 riporta la distanza del punto di inflessione ritrovato per gli stessi profili esaminati nelle Tabelle 1 e 2, da cui si ricava una sua generale tendenza ad allontanarsi dalla riva ed a posizionarsi cosi su isobate più profonde in corrispondenza dei precitati periodi erosivi, mentre, durante le fasi di progradazione della spiaggia sommersa, si nota una sua propensione ad avvicinarsi alla riva posizionandosi cosi su batimetriche più basse.

Nella Tabella 4 vengono altresì riportate le profondità, lungo i profili batimetrici precedentemente esaminati nelle Tabelle 1, 2 e 3, delle varie barre ritrovate, che, in funzione della loro profondità di posizionamento, vengono distinte in barre sommitali (tra la battigia e l'isobata di 8 m), barre mediane (tra 8 e 16 m) e barre basali (> 16 m). La correlazione di questa morfologia a barre con il periodo temporale in cui sono stati rilevati i profili evidenzia che quelli corrispondenti ai precitati intervalli erosivi indicano una tendenza delle barre sommitali (< 8 m) a spostarsi verso riva od addirittura a sparire per lasciare posto a truogoli o ad incipienti escavazioni longitudinali alla riva.

In periodi di ripascimento della spiaggia sommersa si verifica invece la comparsa di barre basali (> 16 m) talora anche in successione ritmica lungo il profilo.

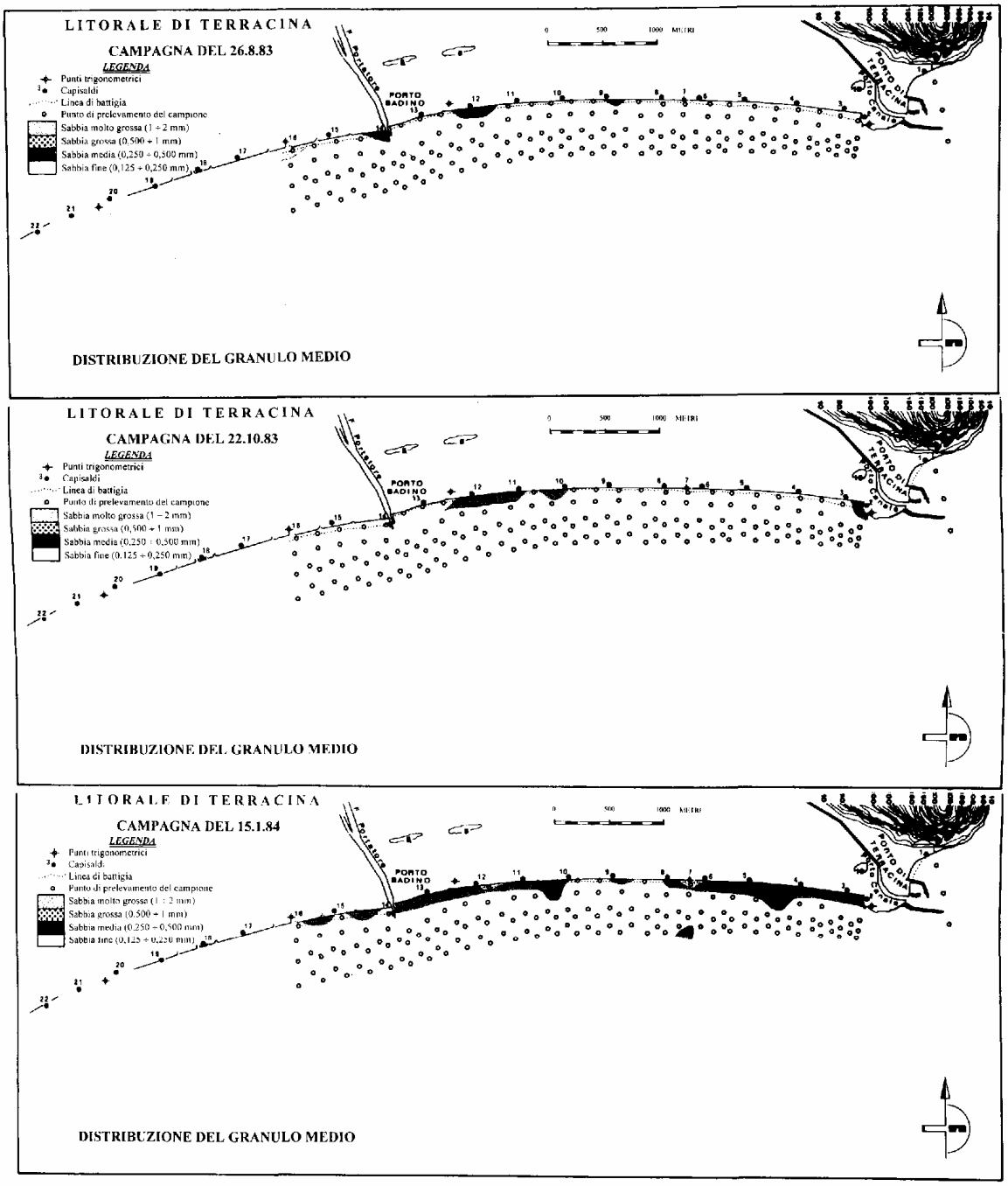


Fig. 2 - Distribuzione sulla spiaggia sommersa di Terracina del granulo medio calcolato secondo Mc Cammon (1962).

Tab. 2 - Geometria dei profili batimetrici per ognuna delle sezioni indicate sui rilievi di cui alle Tavole da 1 a 11.

	LITORALE DI TERRACINA										
SEZIONI	RILIEVI BATIMETRICI										
	5/10/80	10/12/81	25/02/82	23/08/83	20/09/83	10/01/84	01/06/85	27/05/89	15/05/90	09/09/92	10/06/93
1	lineare	lineare	convesso	lineare	lineare	convesso	convesso	convesso	lineare	convesso	convesso
2	concavo	concavo	concavo	convesso	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	concavo	lineare
3	lineare	lineare	convesso	convesso	convesso	lineare	lineare	convesso	lineare	lineare	convesso
4	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	convesso	lineare	lineare	lineare
5	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	convesso	concavo	concavo	convesso
6	lineare	convesso	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	convesso	convesso	lineare	lineare
7	lineare	convesso	lineare	lineare	convesso	lineare	lineare	lineare	lineare	convesso	convesso
8	lineare	concavo	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare
9	lineare	lineare	concavo	concavo	lineare	lineare	lineare	convesso	convesso	convesso	convesso
10	lineare	concavo	concavo	concavo	lineare	lineare	concavo	lineare	lineare	lineare	lineare
11	lineare	concavo	concavo	concavo	lineare	concavo	concavo	lineare	lineare	lineare	lineare
12	convesso	concavo	concavo	lineare	lineare	concavo	lineare	convesso	lineare	lineare	lineare
13	convesso	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	convesso	lineare	lineare	lineare
14	convesso	lineare	concavo	lineare	lineare	lineare	convesso	convesso	lineare	lineare	lineare
15	lineare	concavo	concavo	concavo	lineare	lineare	concavo	convesso	lineare	lineare	concavo
16	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	lineare	convesso	lineare	lineare	concavo
17	concavo						lineare	lineare	lineare	lineare	lineare
18	concavo						lineare	lineare	lineare	lineare	lineare
19	concavo						lineare	convesso	lineare	lineare	convesso
20	lineare						lineare	convesso	lineare	lineare	concavo
21	lineare						lineare	convesso	concavo	lineare	lineare
22	lineare						lineare	convesso	lineare	lineare	lineare

3. ASPETTO OD ASSETTO MORFODINAMICO DEL LITORALE

Al fine di correlare le caratteristiche dell'aspetto fisiografico della spiaggia sommersa di Terracina ricavate dalla descritta indagine morfobatimetrica con la dinamica dei sedimenti sono state realizzate cinque campagne sedimentologiche con prelevamento di campioni di fondo mobile su cui sono state svolte le analisi sedimentologiche secondo le indicazioni e la metodologia proposta da Cortemiglia (1986 e 199Ib).

Le Figure 2 e 3, su cui sono riportati per le cinque campagne sedimentologiche i punti di prelevamento dei campioni di fondo mobile, mostrano la distribuzione del granulo medio sulla spiaggia sommersa di Terracina alle varie date dei rilievi, da cui si evince la persistente presenza sul fondale di "sabbia fine" (0,125 ÷ 0,250mm) con limitata frequenza di aree di "sabbia media" (0,250 ÷ 0,500mm) e di "sabbia molto grossa" (1 ÷ 2mm) distribuite lungo la fascia batimetrica compresa tra la battigia e

Tab. 3 - Distanze dalla linea di battigia (A) e profondità (B) in metri del punto di inflessione lungo ciascuna delle 22 sezioni batimetriche ripetute per ogni rilievo di cui alle Tavole da 1 ad 11.

LITORALE DI TERRACINA																						
SEZIONI	RILIEVI BATIMETRICI																					
	5/10/1980		10/12/1981		25/02/1982		23/08/1983		20/09/1983		10/01/1984		01/06/1985		27/05/1989		15/05/1990		09/09/1992		10/06/1993	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	376	4,0	378	4,0	356	3,9	372	4,2	372	4,2	367	4,2	351	4,0	361	3,8	616	9,2	875	14,5	872	14,5
2	306	6,0	290	6,4	250	4,5	262	5,0	247	4,1	253	4,5	271	5,0	288	5,8	428	9,2	346	8,2	372	9,0
3	331	5,3	289	4,8	219	3,1	276	4,5	255	3,7	266	4,4	285	4,7	228	3,0	524	10,6	711	15,7	729	15,4
4	306	4,4	279	4,6	276	4,3	290	4,7	285	4,2	305	4,9	296	4,5	306	4,4	571	10,8	607	11,9	589	11,2
5	298	4,4	288	4,3	315	4,8	315	5,0	302	4,3	304	4,4	319	4,9	311	4,2	1851	27,9	1750	27,2	687	12,6
6	281	4,0	290	4,0	288	4,9	306	4,5	308	4,3	307	4,8	303	4,5	305	4,3	708	13,9	565	10,2	582	10,5
7	265	3,8	295	4,2	305	5,2	345	4,9	302	4,1	320	4,8	320	4,6	389	5,1	621	11,1	795	14,7	767	13,9
8	287	3,8	324	4,8	325	5,1	329	5,0	323	4,7	320	4,9	337	4,8	349	4,8	673	12,2	606	10,8	620	10,9
9	289	3,6	318	4,7	338	5,3	325	4,7	332	4,7	323	4,6	340	5,0	339	4,8	819	15,4	837	15,2	885	16,5
10	292	3,5	345	5,3	328	5,1	329	5,1	313	4,7	337	5,0	348	5,1	332	4,7	1958	25,2	1979	25,9	590	9,9
11	304	3,6	349	5,0	349	4,7	355	4,8	342	4,5	353	4,8	321	5,4	338	4,4	647	10,9	670	10,7	628	10,3
12	292	3,2	328	4,7	364	4,8	353	4,7	355	4,6	353	4,7	349	4,9	345	4,5	662	10,6	678	10,9	669	10,6
13	291	2,7	363	5,0	373	4,6	351	4,1	361	4,0	365	4,3	346	3,7	340	4,0	677	10,3	726	10,7	720	10,7
14	280	3,3	327	5,5	302	5,4	338	4,8	329	4,3	341	4,7	315	4,2	309	4,0	615	9,8	613	9,7	627	9,7
15	365	3,5	380	5,2	379	5,1	358	4,9	362	4,6	358	4,6	362	4,7	375	4,7	2023	23,8	2128	24,6	633	9,0
16	349	3,8	397	4,7	377	5,1	351	5,2	368	4,6	354	4,9	343	4,1	345	4,3	664	9,9	685	9,4	676	9,2
17	367	4,4											377	5,1	369	4,3	573	8,3	578	8,2	610	8,9
18	369	4,6											361	5,2	351	4,0	619	10,0	638	9,5	615	9,1
19	356	5,0											361	4,9	358	4,4	624	9,6	603	8,8	141	1,4
20	353	4,6											341	4,5	334	4,0	527	8,8	524	8,2	521	7,9
21	359	4,5											359	4,6	344	4,1	580	8,7	602	8,5	592	8,2
22	316	3,7											353	4,5	369	4,1	655	9,6	670	9,7	643	9,5

Tab. 4 - Quadro sinottico delle profondità in metri a cui si rinvengono le barre lungo i vari profili barimetrici dei rilievi riportati sulle Tavole da 1 ad 11.

	LITORALE DI TERRACINA										
SEZIONI	RILIEVI BATIMETRICI										
	5/10/1980	10/12/1981	25/02/1982	23/08/1983	20/09/1983	10/01/1984	01/06/1985	27/05/1989	15/05/1990	09/09/1992	10/06/1993
1	5,5	5,8	5,6	6,0	6,1	6,0	5,8	1,4-2,5-5,9	5,7	5,1	5,2
2	5,0	2,1-4,7	3,0	2,1-3,1	3,0	2,9	3,0	3,6	2,6-5,3	-	-
3	5,0-7,0	3,3	3,3	3,0	2,9	2,9	2,6	3,4	2,4	-	3,4
4	5-7	3,1	3,2	3,5	3,4	-	2,9	3,5	2,7	-	-
5	5,0	3,0	3,1	4,3	4,0	-	3,0	1,5-3,4	-	-	-
6	2,0	2,0	3,2	3,5	3,4	-	3,0	1,6-3,1	-	-	-
7	2,5	3,3	3,2	3,6	3,4	3,5	3,0	3,9	-	18,9	18,9
8	2,0	3,4	4,0	3,7	3,6	3,5	3,0	3,0	2,6	-	-
9	2,2	2,9	3,5	3,5	3,3	3,4	3,4	2,3	2,3	-	-
10	-	-	-	3,6	3,4	3,5	3,4	2,5	22,3	3,0	-
11	-	-	-	3,5	3,0	3,6	3,6	1,9	-	-	-
12	-	-	-	3,4	3,2	3,7	3,6	2,5	2,4	-	1,8
13	-	-	-	-	3,5	3,5	4,1	2,0	-	1,9	1,9
14	2,3	3,7	3,2	3,4	-	3,8	3,8	2,6	-	2,9	3,2
15	-	1,8-3,6	-	3,7	3,2	3,7	3,6	2,5	2,0	-	-
16	-	2,2-3,6	2-3,4	3,6	3,2	3,9	3,7	2,7	1,9-16-19,5	15,7-19,4	15,7-19,4
17	-						3,7	2,5	2,2-17,7	17,6-18,9	3-4,3-17,7-18,8
18	-						3,8	2,4	2-16-17,5-18,9-19,6	16,4-18,6-19	16,4-18,4
19	-						3,5	2,8	2,2-17,3- 18,6-20,4	17,5-18,9	1,6-17,5
20	-						1,8	2,7	2,4-15,7-17,4-18,3	16-18-19-20	16-18-20-21
21	-						2,2	2,9	2,4-17,4-18,4-19,7	3-15-16,6-19,7	3-15-16,6-19,7
22	-						2,2	2,6-5,7	2,6-16,3-18,2	3,2-16,7	2,9-16,8

l'isobata di 2,5 m. Si noti come questa fascia batimetrica di materiale più grossolano raggiunga la massima distribuzione areale nella campagna sedimentologica (Fig. 2) del 15.1.1984, in corrispondenza cioè del massicci interventi di ripascimento effettuati alla fine del 1983. La partecipazione del materiale di ripascimento, costituito dal ricordato ghiaietto carbonatico di frantoio (brecciolino) a classe granulometrica t^r^a 5 e 20 mm, alla caratterizzazione tessiturale del fondale può essere indirettamente valutata per le varie campagne sedimentologiche sulla base dell'analisi calcimetrica effettuata su ciascun campione di fondo mobile prelevato, in quanto i relativi risultati permettono di tracciare la distribuzione della frazione carbonatica sulla spiaggia sommersa di Terracina.

Le Figure 4 e 5 riportano appunto l'andamento della frazione carbonatica nel sedimento di fondo mobile, da cui emerge chiaramente come questa tenda a trasferirsi verso il largo, dai vari punti di immissione sulla battigia del materiale di ripascimento (brecciolino), distribuendosi su un fondale prevalentemente privo di componente carbonatica.

La Tabella 5 riporta le caratteristiche tessiturali espresse dalle formule modali medie del sedimento di fondo mobile sulla spiaggia sommersa di Terracina alle varie date dei rilievi, da cui si evince come la subpopolazione principale caratterizzante la dinamica litorale del paraggio sia rappresentata dalla frazione modale della "sabbia fine" ed, in subordine, da quella della "sabbia media", mentre le altre frazioni granulometriche modali risultino del tutto trascurabili e poco significative nella partecipazione della dinamica litorale della spiaggia sommersa.

Tab. 5 - Formule modali medie del sedimento di fondo mobile calcolate sulla base dei campioni raccolti sulla spiaggia sommersa di Terracina durante le relative campagne sedimentologiche svolte alle date indicate e dimensionalità modali delle relative subpopolazioni partecipanti alla dinamica litorale.

CAMPAGNE SEDIMENTOLOGICHE	FORMULE MODALI MEDIE
26/08/1983 =	(0,245) 77,06% + (0,253) 21,92% + (0,570) 0,57% + (12,00) 0,45%
22/10/1983 =	(0,191) 74,96% + (0,253) 24,52% + (0,600) 0,32% + (11,769) 0,20%
15/01/1984 =	(0,191) 80,75% + (0,365) 16,22% + (0,715) 2,18% + (6,108) 0,85%
24/05/1985 =	(0,189) 89,95% + (0,337) 8,61% + (0,900) 0,83% + (3,91) 0,61%
21/09/1992 =	(0,109) 1,19% + (0,188) 82,36% + (0,299) 3,16% + (0,759) 0,06% + (6,00) 13,23%

SUBPOPOLAZIONI	DIMENSIONALITA' GRANULOMETRICHE MODALI									
	26/08/1983		22/10/1983		15/01/1984		24/05/1985		21/09/1992	
	FRAZIONI MODALI IN mm	FREQUENZE %	FRAZIONI MODALI IN mm	FREQUENZE %	FRAZIONI MODALI IN mm	FREQUENZE %	FRAZIONI MODALI IN mm	FREQUENZE %	FRAZIONI MODALI IN mm	FREQUENZE %
1 - SILT E SABBIA MOLTO FINE	-	-	-	-	-	-	-	-	0,011 - 0.109	1,19
2 - SABBIA FINE	0,078 - 0,249	77,06	0.181 - 0,249	74,96	0,136 - 0,240	80,75	0,182 - 0,245	89,95	0,179 - 0,246	82,36
3 - SABBIA MEDIA	0,250 - 0,470	21,92	0,250 - 0,460	24,52	0,262 - 0,482	16.22	0,251 - 0,374	8,61	0,250 - 0,486	3,16
4 - SABBIA GROSSA	0,530 - 0,950	0,57	0,565 - 0,900	0,32	0,521 - 0,900	2,18	0,565 - 0,900	0,83	0,76	0,06
5 - GRANULI - GHIAIA - CIOTTOLI	2,752 - 24	0,45	3,781 - 12	0,2	1,50 - 23,60	0,85	2,056 - 12	0,61	2,213 - 23,847	13,23
	TOTALE	100		100		100		100		100

La Figura 6 indica i vari assi di transito principali e secondari relativi alle due subpopolazioni modali risultate, come indica la Tabella 5, quali componenti modali prevalenti del transito sedimentario sulla spiaggia di Terracina alla data del 26.8.1983 in cui e stato eseguito il prelevamento dei campioni di fondo mobile di questa campagna sedimentologica.

La dinamica litorale in questo periodo temporale risulta quindi prevalentemente rappresentata dalla mobilizzazione della frazione granulometrica modale 0,078 ÷ 0,249 mm (sabbia fine - subpopolazione 2) ad opera di una longshore current, diretta da W verso E lungo la fascia batimetrica tra 5 ed 8 m (Tavola 4) ed in cui convergono varie rip current dirette ad evacuare questa subpopolazione dalla riva verso il largo.

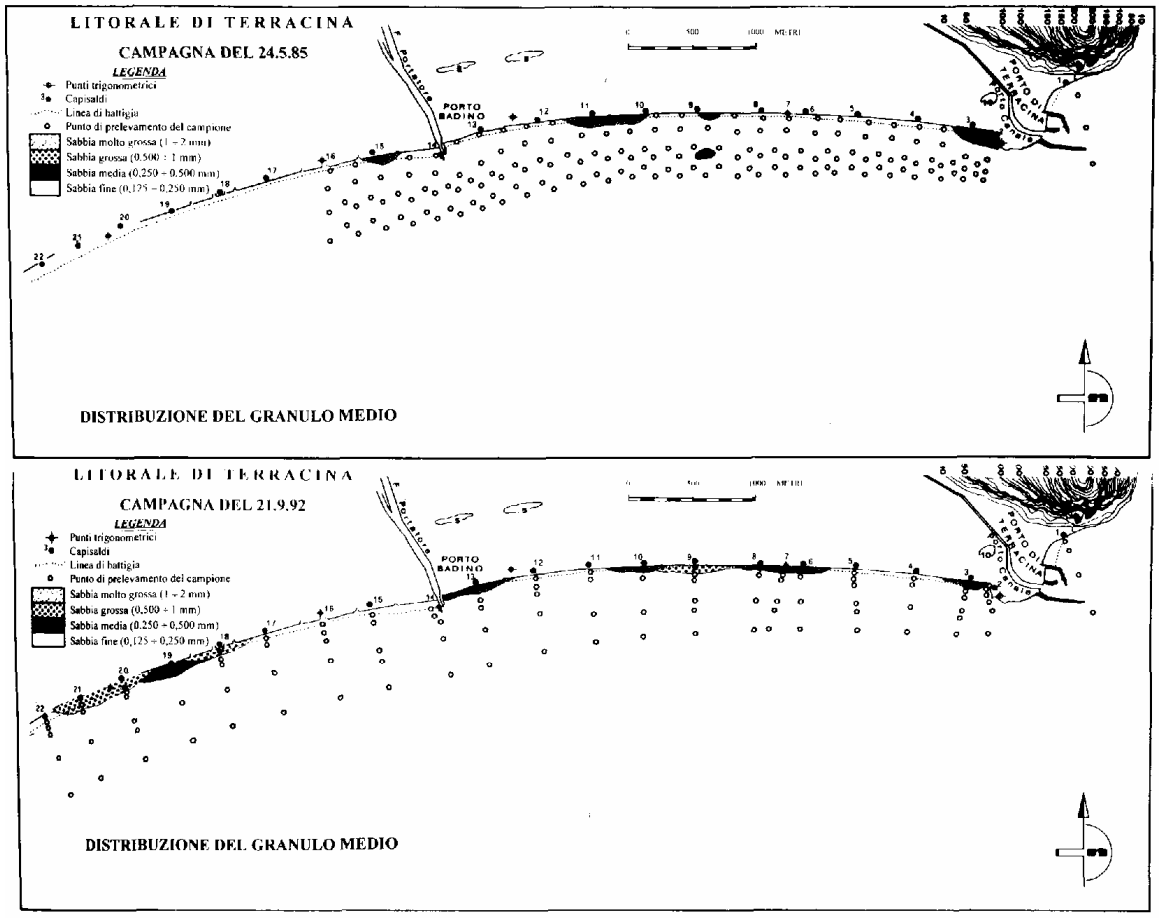


Fig. 3 - Distribuzione sulla spiaggia sommersa di Terracina del granulo medio calcolato secondo Mc Cammon (1962).

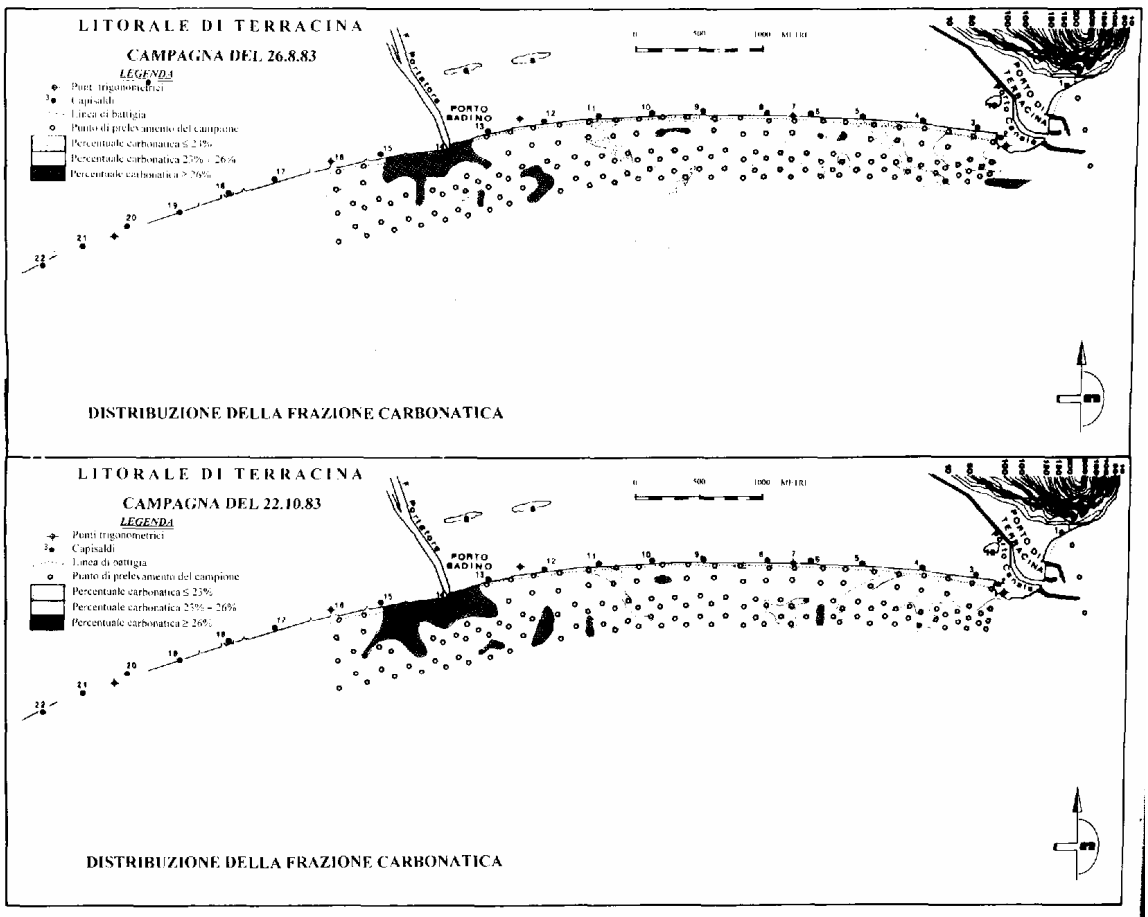


Fig. 4 - Distribuzione della frazione carbonatica presente nel sedimento di fondo mobile costituente la spiaggia sommersa di Terracina alle date in cui sono stati effettuati i prelevamenti dei campioni indicati nei singoli rilievi.

La subpopolazione 3, costituita dalla frazione granulometrica modale 0,250 ÷ 0,470 mm (sabbia media) e di gran lunga più subordinata (Tabella 5) rispetto alla precedente, rivela una sua mobilizzazione prevalentemente legata ad assi di transito secondari dovuti ad una longshore current diretta lungoriva da W verso E lungo la fascia batimetrica compresa tra la battigia e l'isobata di 1,5 m (Tavola 4) e convergente, nella zona dell'interasse tra i capisaldi 5 e 6 (Fig. 6), in una rip current diretta verso il largo.

La Figura 7, relativa alla campagna sedimentologica del 22.10.1983, conferma (Tabella 5) che il sedimento di fondo mobile interessato alla dinamica litorale risulta

ancora rappresentato dalle stesse frazioni granulometriche modali. In particolare però la subpopolazione 2 della "sabbia fine" presenta una frazione granulometrica modale più ristretta (0,181 4 ÷ 0,249 mm), in cui cioè le dimensionalità più fini sono scomparse, segno evidente che sono state allontanate dal sistema correntizio che rimane ancora costituito da una longshore current diretta da W verso E lungo la fascia batimetrica compresa tra 7 e 10 m ed in cui convergono da riva (Fig. 7) numerose rip current.

La subpopolazione 3 (0,250 ÷ 0,460 mm) della "sabbia media", pur risultando subordinata (Tabella 5), presenta lo stesso carattere tessiturale e dinamico ritrovato nel precedente rilievo del 26.8.1983 (Fig. 6), soltanto che ne risulta incentivato il trasporto per longshore current soprattutto sul lato occidentale della battigia.

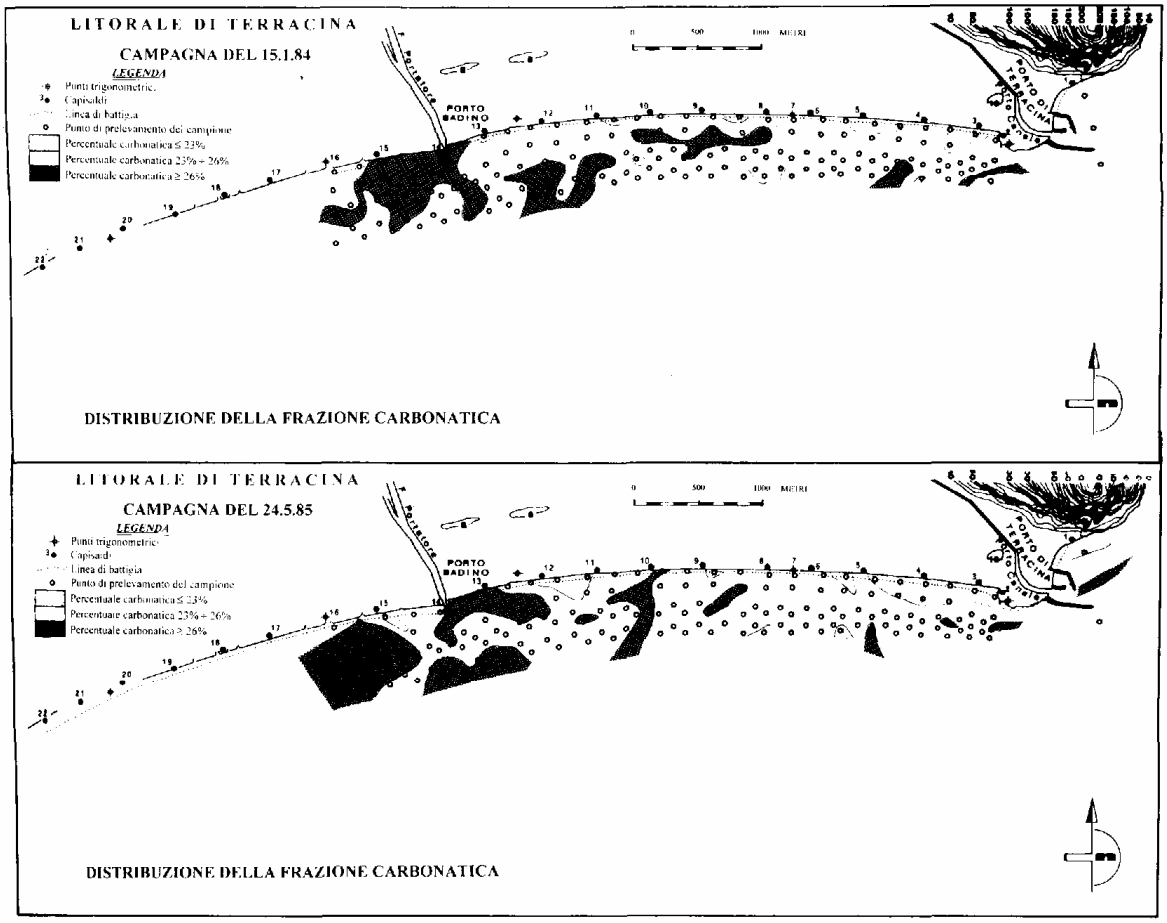


Fig. 5 - Distribuzione della frazione carbonatica presente nel sedimento di fondo mobile costituente la spiaggia sommersa di Terracina alle date in cui sono stati prelevati i campioni indicati nei singoli rilievi.

La Figura 8 riporta gli assi di transito principali e secondari relativi alla campagna sedimentologica del 15.1.1984 da cui si evidenzia come sia diminuita (Tabella 5) l'importanza quantitativa della frazione granulometrica modale (0,262 4 ÷ 0,482 mm) relativa alla "sabbia media" (subpopolazione 3) rispetto a quella 0,136÷0,240 mm della "sabbia fine" (subpopolazione 2) divenuta consistentemente prevalente (80,75 %).

L'andamento degli assi di transito relativi a queste due subpopolazioni (Fig. 8) conferma la presenza della importante longshore current diretta da W verso E, indicando pero un suo avvicinamento alla riva, in quanto risulta ubicata nella fascia batimetrica compresa tra le isobate di 3 e 5 m. Si nota, inoltre, per la "sabbia media" (Fig. 8), un'avvenuta diminuzione degli effetti legati alla longshore current a ridosso della riva per l'instaurarsi di efficaci rip current, specie sul tratto occidentale del litorale terracinese.

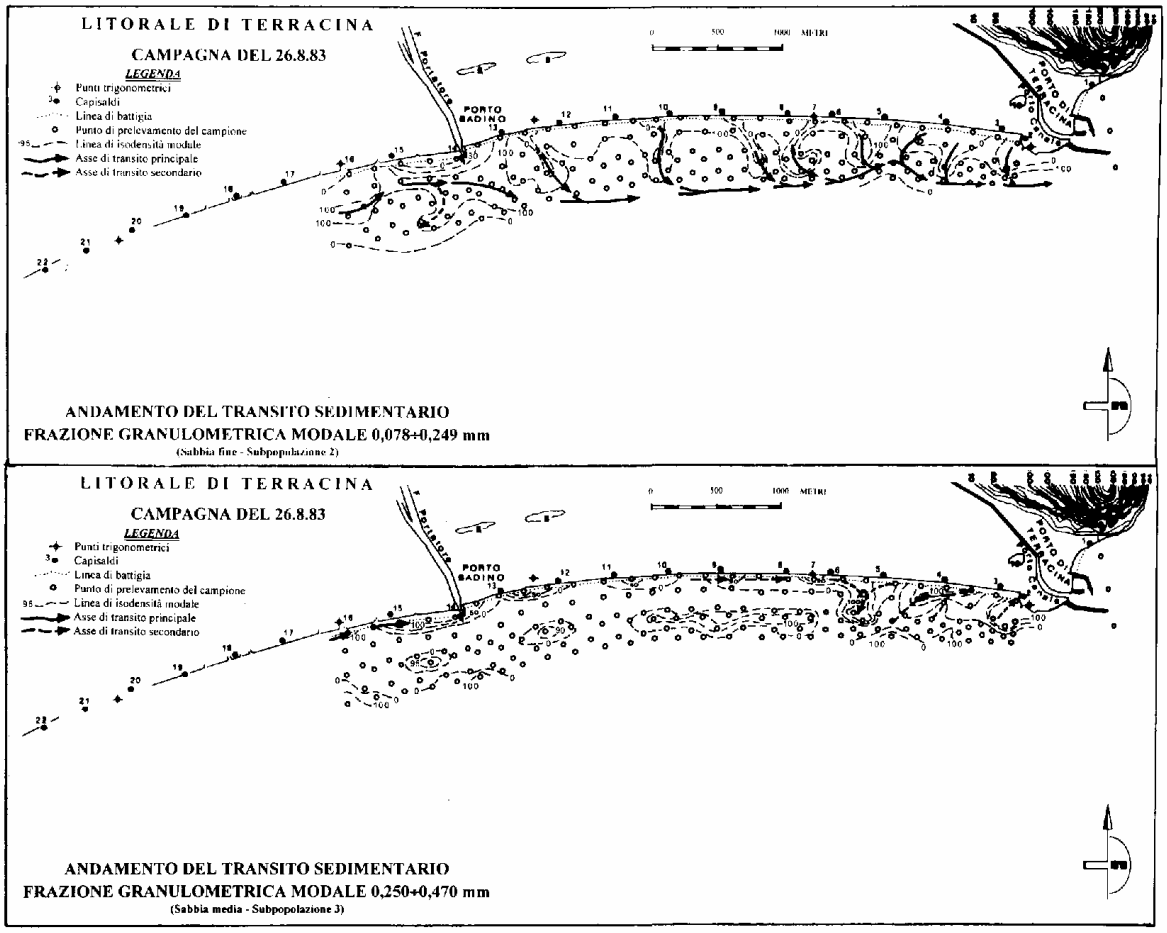


Fig. 6 - Andamento del transito sedimentario relativo alle frazioni granulometriche modali della "sabbia fine" (0,078 ÷ 0,249 mm) e della "sabbia media" (0,250 ÷ 0,470 mm), che, come evidenziato nella Tabella 5, costituivano, alla data del 26.8.1983, le principali e fondamentali componenti del trasporto litoraneo.

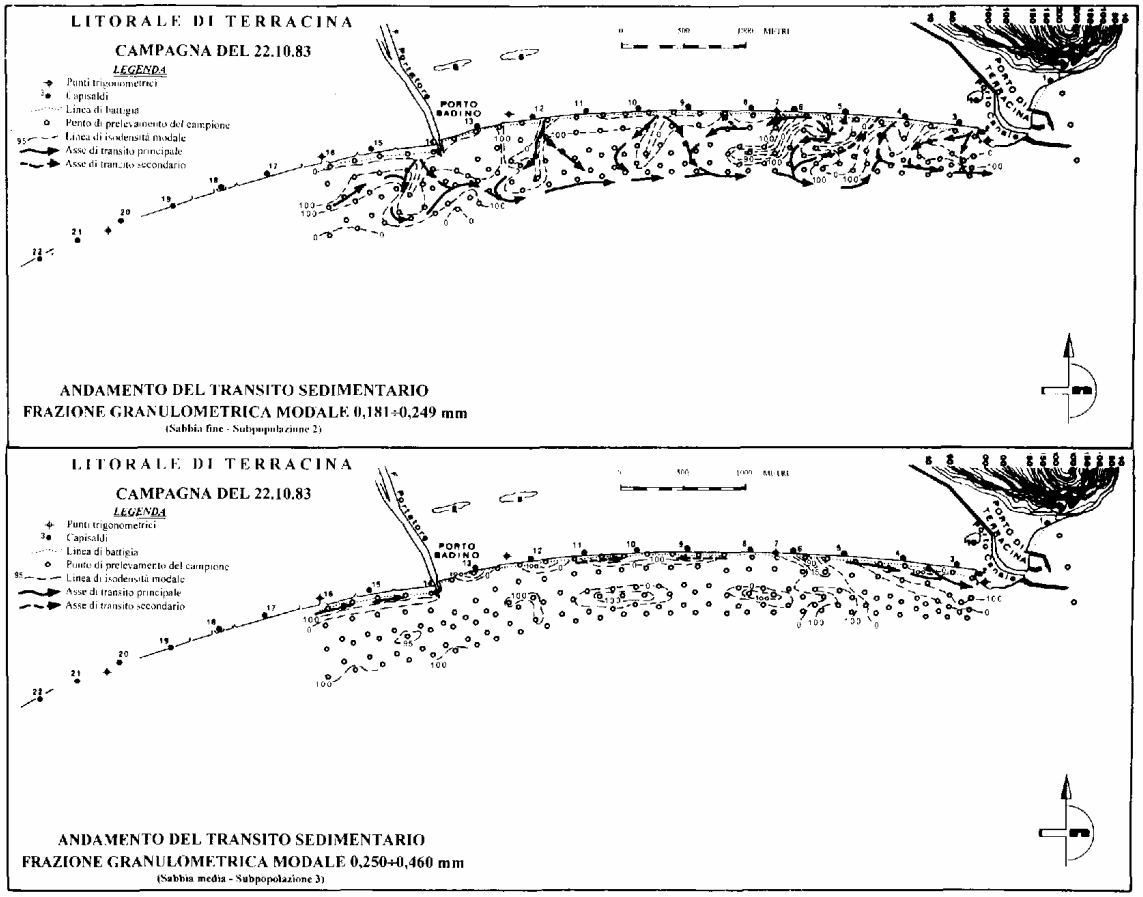


Fig. 7 - Andamento del transito sedimentario relativo alle frazioni granulometriche modali della "sabbia fine" (0,181 ÷ 0,249 mm) e della "sabbia media" (0,250 ÷ 0,460 mm), che, come evidenziato nella Tabella 5, alla data del 22.10.1983, costituivano le componenti sostanziali del trasporto litoraneo sulla spiaggia sommersa di Terracina.

La Figura 9 riporta gli assi principali e secondari del transito sedimentario sulla spiaggia sommersa di Terracina relativi alla campagna sedimentologica del 24.5.1985 che conferma 1'avvenuta ulteriore prevalente importanza quantitativa (Tabella 5) assunta dalla frazione granulometrica modale della "sabbia fine" (0,182 4- 0,245 mm) rispetto a quella modale della "sabbia media" (0,251 4 0,374 mm) che, oltre alla diminuzione percentuale subita, risulta altresì ridotta nell'intervallo dimensionale.

Tale riduzione quantitativa della "sabbia media" si rileva altresì dal tracciamento dei suoi assi di transito riportati in Figura 9 dove risultano unicamente limitati a

localizzazioni secondarie di scarsa importanza nel bilancio sedimentario. Praticamente il transito sedimentario sulla spiaggia sommersa di Terracina, alla data del 24.5.1985, risulta rappresentato, come indica la Figura 9, dalla "sabbia fine" a classe granulometrica modale 0,182 ÷ 0,245 mm mobilizzata da una importante longshore current diretta da W verso E che risulta, rispetto all'andamento assunto nel precedente rilievo del 15.1.1984 (Fig. 8), ritornata a scorrere lungo la fascia batimetrica compresa tra 6 ed 8 m.

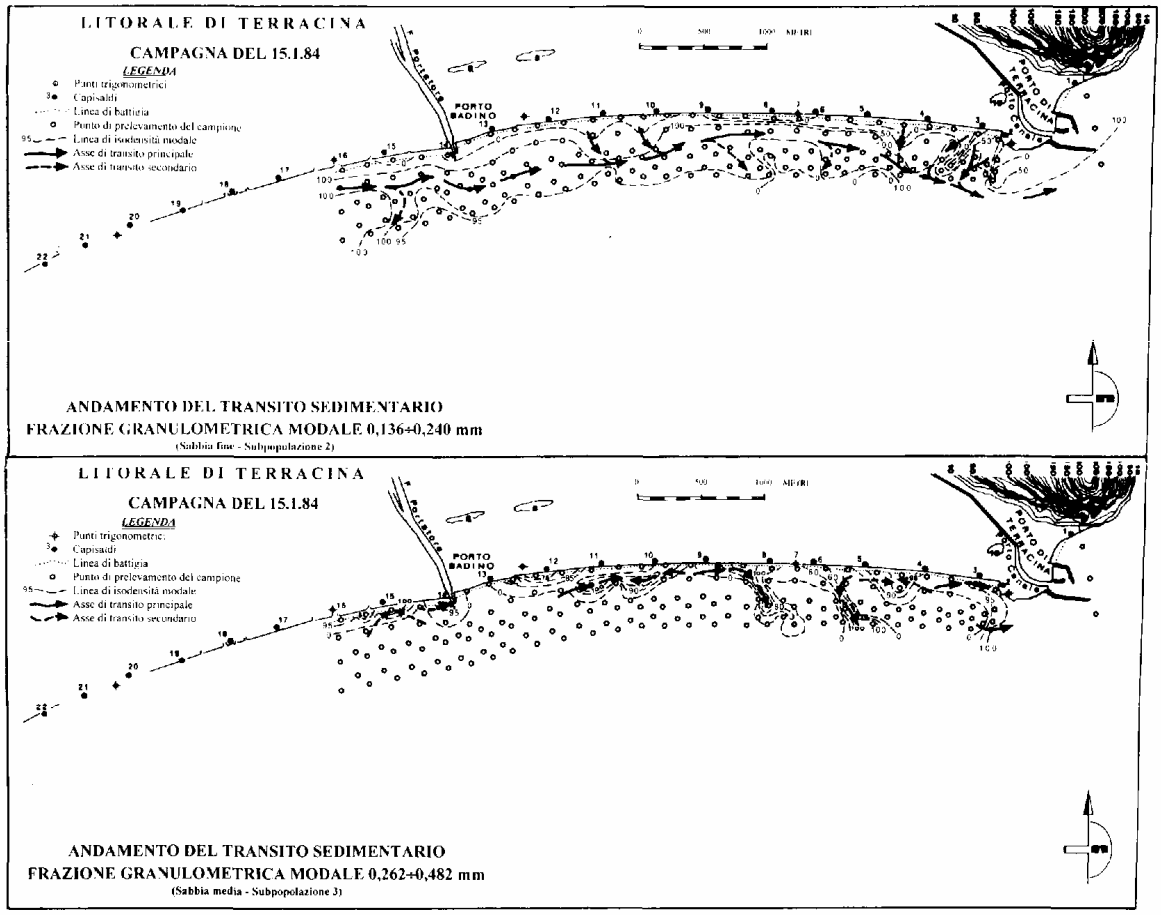


Fig. 8 - Andamento del transito sedimentario relativo alle frazioni granulometriche modali della "sabbia fine" (0,136 ÷ 0,240 mm) e della "sabbia media" (0,262 ÷ 0,482 mm), che, come evidenziato nella Tabella 5, alla data del 15.1.1984, costituivano le componenti considerevoli e sostanziali del trasporto litoraneo sulla spiaggia sommersa di Terracina.

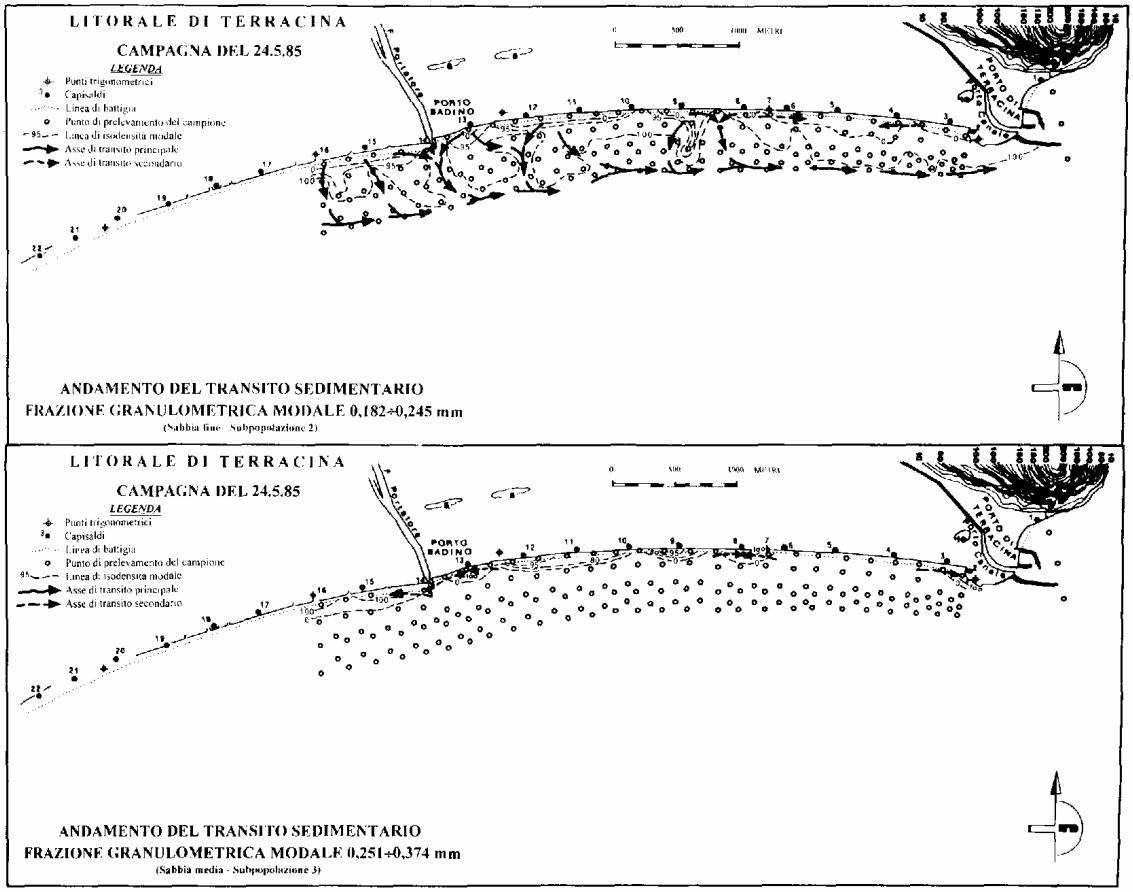


Fig. 9 - Andamento del transito sedimentario relativo alle frazioni granulometriche modali della "sabbia fine" (0,182 ÷ 0,245 mm) e della "sabbia media" (0,251 ÷ 0,374 mm), che, come evidenziato nella Tabella 5, alla data del 24.5.1985, costituivano le componenti principali della deriva litoranea sulla spiaggia sommersa di Terracina.

La Figura 10, relativa alla campagna sedimentologica del 21.9.1992, conferma la descritta tendenza della frazione granulometrica modale della "sabbia fine" a rappresentare (Tabella 5) la componente principale e sostanziale della deriva litoranea sulla spiaggia sommersa di Terracina il cui transito avviene sempre ad opera di una longshore current diretta da W verso E lungo la fascia batimetrica compresa tra 6 ed 8 m. In tale corrente lungo riva, come gia nelle campagne sedimentologiche precedenti, convergono delle rip current provenienti dalla battigia. In questa campagna sedimetologica, come mostra la Tabella 5, si evidenzia la presenza di una frazione granulometrica modale

grossolana (subpopolazione 5), legata ai ripascimenti effettuati nel 1991, il cui asse di transito principale risulta pero limitato (Fig. 10) alla sola zona a ridosso della battigia posta a ponente della foce del Portatore.

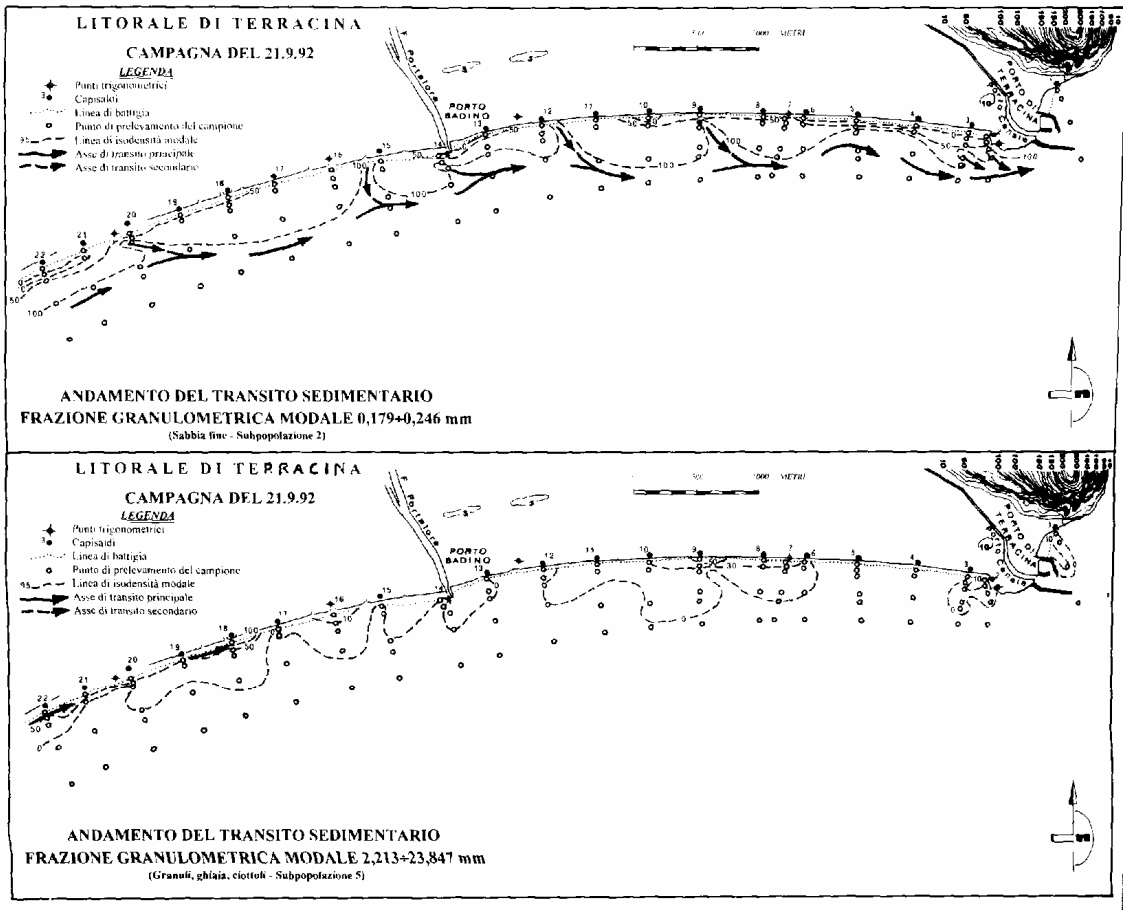


Fig. 10 - Andamento del transito sedimentario relativo alle frazioni granulometriche modali della "sabbia fine" (0,179 ÷ 0,246 mm) e dei "granuli-ghiaia-ciottoli" (2,752 ÷ 23,847 mm), che, come evidenziato nella Tabella 5, alla data del 21.9.1992, costituivano le componenti principali della deriva litoranea sulla spiaggia sommersa di Terracina.

4. CONCLUSIONI

La determinazione dell'assetto fisiografico della spiaggia sommersa di Terracina durante il periodo temporale 1981-1993 ha consentito di mettere a punto una metodologia in grado di segnalarne lo stato di equilibrio dinamico.

Infatti durante le fasi erosive, in cui la spiaggia sommersa entra in erosione e la battigia arretra verso terra, si osserva una diminuzione del la dimensione frattale della lunghezza della linea di battigia (Fig. 1) associata ad una diminuzione della pendenza media del profilo trasversale alla riva (Tab. 1), ad una tendenza della geometria del profilo a passare da convesso a lineare ed a concavo (Tab. 2), ad un avvicinamento alla battigia del punto di inflessione del profilo trasversale alia riva (Tab. 3), ad uno spostamento delle barre sommitali verso riva oppure ad una loro sostituzione con truogoli (Tab. 4).

Durante le fasi di ripascimento, in cui la spiaggia sommersa risulta in progradazione, 1'analisi morfobatimetrica ha messo invece in evidenza un aumento della dimensione frattale della lunghezza della linea di riva (Fig.l), accompagnata da un aumento della pendenza del profilo trasversale alla riva (Tab. 1), da una tendenza della geometria del profilo trasversale alla riva a passare da concavo o convesso a lineare (Tab. 2), da un allontanamento dalla battigia del punto di inflessione del profilo trasversale (Tab. 3) ed infine dalla formazione di successioni di barre basali a varie batimetriche.

Tali nette diversificazioni dell'assetto fisiografico discriminanti fasi erosive sulla spiaggia sommersa da fasi di progradazione risultano quindi confermare le analoghe risultanze ritrovate da Cortemiglia (1991b e 1993) sulle spiagge sommerse di Marinella-Fiumaretta e dei Ronchi appartenenti al litorale apuano, per cui 1'analisi morfobatimetrica potrebbe essere utilizzata come metodologia di indagine per verificare lo stato erosivo od in ripascimento di un determinate tratto di costa deposita.

L'individuazione sulla spiaggia sommersa di Terracina dell'assetto morfodinamico ha invece permesso di riconoscere che le descritte modificazioni morfologiche risultano principalmente legate agli effetti di una dinamica litorale mobilizzazante soprattutto le dimensioni modali della "sabbia fine" ad opera di una longshore current, in cui convergono rip current provenienti dalla battigia, diretta da W verso E lungo una fascia batimetrica compresa tra 3 e 10m.

RINGRAZIAMENTI

Ricerca eseguita con il contributo del MURST e del CNR.

BIBLIOGRAFIA

Cortemiglia, G.C. 1978. Valutazione quantitativa della variazione di fondale tra la foce del Magra ed il porto di Marina di Carrara ed individuazione dei principali assi di transito del trasporto litoraneo. *Mem. Soc. Geol. It.,19:* 407-419.

Cortemiglia, G.C. 1986. Dinamica dei sedimenti alla foce del Coriglianeto (Golfo di Taranto). Atti Conv. Evol. Litorali Problem. Golfo di Taranto, Enea Centra Ricerche Trisaia: 117-160.

Cortemiglia, G.C. 1991a. Inquadramento morfogenetico generale della costa ligure e lineamenti morfologici principali del tratto tra Finale Ligure e Spotorno. Studi e Ricerche di Geogr., XIV, n°2: 138-154.

Cortemiglia, G.C. 1991b. Ristrutturazione morfologica per ripascimento della Spiaggia dei Ronchi (Litorale apuano) quale tecnica di difesa dagli effetti erosivi. Centro Culturale R. Consani, Mem.l: 7-58.

Cortemiglia, G.C. 1992. Morphodynamic features of the Apuan coastal belt between the mouths of the Magliano and of the river Cinquale (Tuscany, Italy). *Boll. Oceanol. Teor. Appl.,* X, n° 2-3-4: 205-210.

Cortemiglia, G.C. 1993. L'evoluzione della dinamica litorale sulla spiaggia sommersa di Marinella (Litorale Apuano-Toscana) nell'intervallo temporale 1974-1989 ricostruita sulla base dei risultati dell'analisi modale. 4° Conv. Int. Studi Sardegna Mondo Mediterraneo, Sassari-Alghero 15/17 aprile 1993.

Cortemiglia, G.C. 1994. Aspetti generali della morfologia costiera quali basi di riferimento per 1'impo.stazione di una legenda di rilevamento dei relativi morfotipi. Studi Geogr. in onore D. Ruocco, 1, Geogr. Fis.: 96-116.

Mc Cammon, R.B. 1962. Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *Journ. Geol.,* v.70, n°4: 453-465.

Mandelbrot, B.B. 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similary and fractional dimension. *Science,* 155: 636-638.

Mandelbrot, B.B. 1987. Gli oggetti frattali. Forma, caso e dimensione. *Paperbacks* Einaudi, Torino: 207 p.

Richardson, L.F. 1961. The problem of contiguity: an appendix of statistic of deadly quarrels. *General Systems Yearbook,* VI: 139-187.

Atti dell'11" Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 523 - 539

MINERALOGIA E TESSITURA DEI SEDIMENTI IN FUNZIONE DEI CARATTERI GEOMORFOLOGICINELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DELLA BAIA DI CARINI (SICILIA NORD-OCCIDENTALE)

Massimo SETTI[1], Ornella FERRETTI[2], Francesco IMMORDINO[2]

[1] Dip. Scienze della Terra, Università di Pavia
[2] ENEA CRAM, S.Teresa - La Spezia

RIASSUNTO

Sulla piattaforma costiera della Baia di Carini (Sicilia nord-occidentale) è stato condotto uno studio tessiturale e mineralogico dei sedimenti superficiali. A tal fine sono stati prelevati 40 campioni lungo transetti posizionati ad intervalli regolari e perpendicolari alla costa.

L'obiettivo di questo contributo e di individuare le possibili relazioni fra caratteri dei sedimenti e la morfologia dei fondali sottostanti.

Le analisi granulometriche e mineralogiche effettuate permettono di ottenere una distribuzione dei caratteri dei sedimenti della piattaforma chiaramente collegati con le diverse strutture morfologiche presenti nell'area.

ABSTRACT

A granulometric and mineralogical study has been carried out on the coastal shelf sediments of Carini Bay (north-western Sicily).

This work aims to determine the relationship among the morphology and the texture and mineralogy of the surficial sediments.

During the oceanographic cruise in summer 1994, 40 sediment samples were collected and analyzed. Granulometric and especially mineralogical data show an areal distribution on the platform strictly correlated to the presence of the main morphological structures.

1. INTRODUZIONE

Durante la campagna oceanografica nel luglio 1992 e stato eseguito uno studio geomorfologico sulla piattaforma costiera della Baia,di Carini (Sicilia nord-occidentale); a tal fine sono stati effettuati una serie di profili Side Scan Sonar "a copertura totale".

L'area marina in esame presenta delle caratteristiche morfologiche particolari con una serie di zone di piattaforma e vecchie linee di costa a diverse profondità (Lucido, 1992). I rilievi SSS hanno confermato la presenza di strutture quali canali, bordi di piattaforme interne, affioramenti rocciosi e di *beach rocks.*

Scopo del presente contributo e la verifica dell'esistenza di relazioni fra morfologia dei fondali e tessitura e mineralogia dei sedimenti sovrastanti. A tal fine sono stati prelevati 40 campioni di sedimenti superficiali, secondo una maglia regolare con transetti perpendicolari alla costa.

Lo studio dei caratteri del materiale sedimentario potrà contribuire all'interpretazione dei lineamenti geomorfologici e dei processi presenti sulla piattaforma in esame.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOG1CO DELL'AREA

L'area emersa antistante la Baia di Carini e costituita da una piana costiera limitata, ad E ed a W, da dorsali montuose con asse N-S caratterizzate da ripide scarpate rivolti verso il mare. Le pareti sub-verticali dei rilievi che emergono isolati nella piana e quelli più elevati che bordano 1'intera fascia costiera, sono stati interpretati come paleofalesie originatesi durante le trasgressioni marine pleistoceniche; a queste forme sono associate le antiche piattaforme di abrasione che sono state rilevate a varie quote sul livello del mare.

Nell'area continentale affiorano rocce prevalentemente carbonatiche meso-cenozoiche, costituite da calcari e calcari dolomitici e rocce terrigene rappresentate da calcareniti, quarzoareniti, Flysch Numidico (Abate et al., 1978; Catalano et al., 1979); le rocce carbonatiche costituiscono il substrato su cui poggiano i depositi plio-pleistocenici affioranti lungo la fascia costiera e rappresentano, inoltre, la continuazione in terra dei depositi marini nell'area in esame.

Nell'area di piattaforma marina, i profili sismici a riflessione hanno evidenziato un substrato roccioso che rappresenta il prolungamento in mare dei massicci carbonatici meso-cenozoici, seguiti dai depositi neogenico-pleistocenici; gli orizzonti superiori dovrebbero corrispondere a sedimenti inconsolidati olocenici.

La piattaforma continentale e caratterizzata da una serie di unita fisiografiche (Fig. 1), poste a differenti batimetrie, con una serie di canali che collegano i vari tratti; inoltre, nell'area orientale, sono stati osservati degli affioramenti di *beach rocks* a profondità comprese fra 75 e 105 m, che rappresentano le tracce di stazionamento del livello marine durante la sua risalita post-wurmiana (Lucido, 1992).

3. METODI

Durante la campagna oceanografica a bordo della N/O "Urania" sono stati raccolti, mediante benna shipeck, 40 campioni di sedimenti marini nell'area di piattaforma continentale della Baia di Carini (Fig. 2).

I campioni sono stati sottoposti a lavaggi con acqua deionizzata e sono state separate ad umido le frazioni >63 µm da quelle inferiori che sono state analizzate mediante Sedigrafo; le frazioni >63 µm sono state setacciate a secco a intervalli di 1/2 φ e osservate al microscopio ottico.

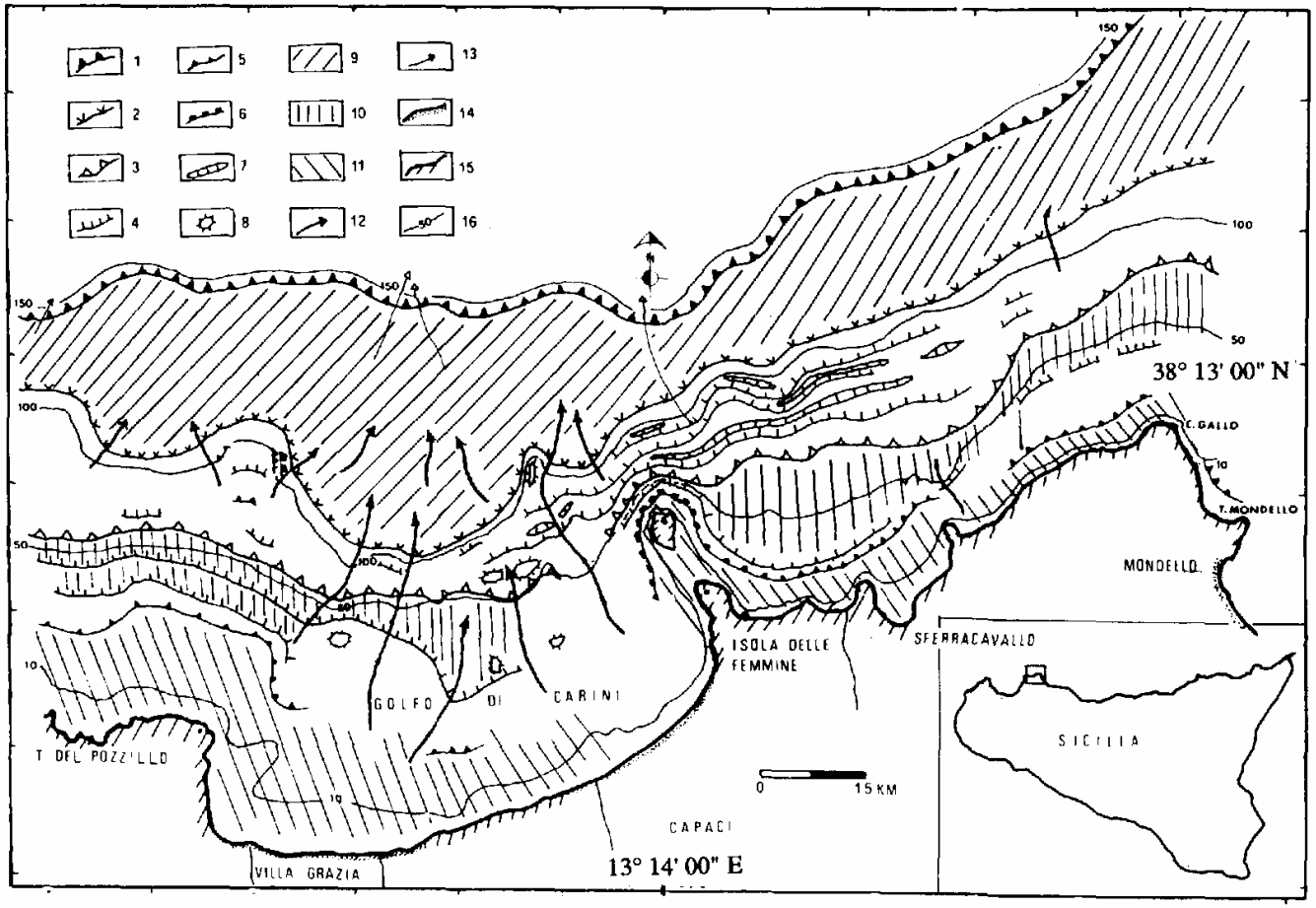


Fig. 1 - Schema geomorfologico della Baia di Carini (da Lucido, 1992). 1) bordo progradante della piattaforma continentale; 2) margine esterno della piattaforma continentale; 3) bordo progradante della piattaforma interna; 4) rottura di pendio concava (linea di riva sommersa); 5) rottura di pendio convessa; 6) falesie sommerse; 7) beach rocks; 8) rilievi isolati; 9) ripiano situato tra -40 e -120 m; 10) ripiano situato tra -60 e -35 m; 11) piattaforma di erosione attiva tra -18 e 0 m; 12) paleoidrografia; 13) canyon ed incisioni del bordo della piattaforma continentale e della scarpata superiore; 14) coste basse sabbiose ciottolose; 15) coste rocciose a falesia; 16) isobate principali.

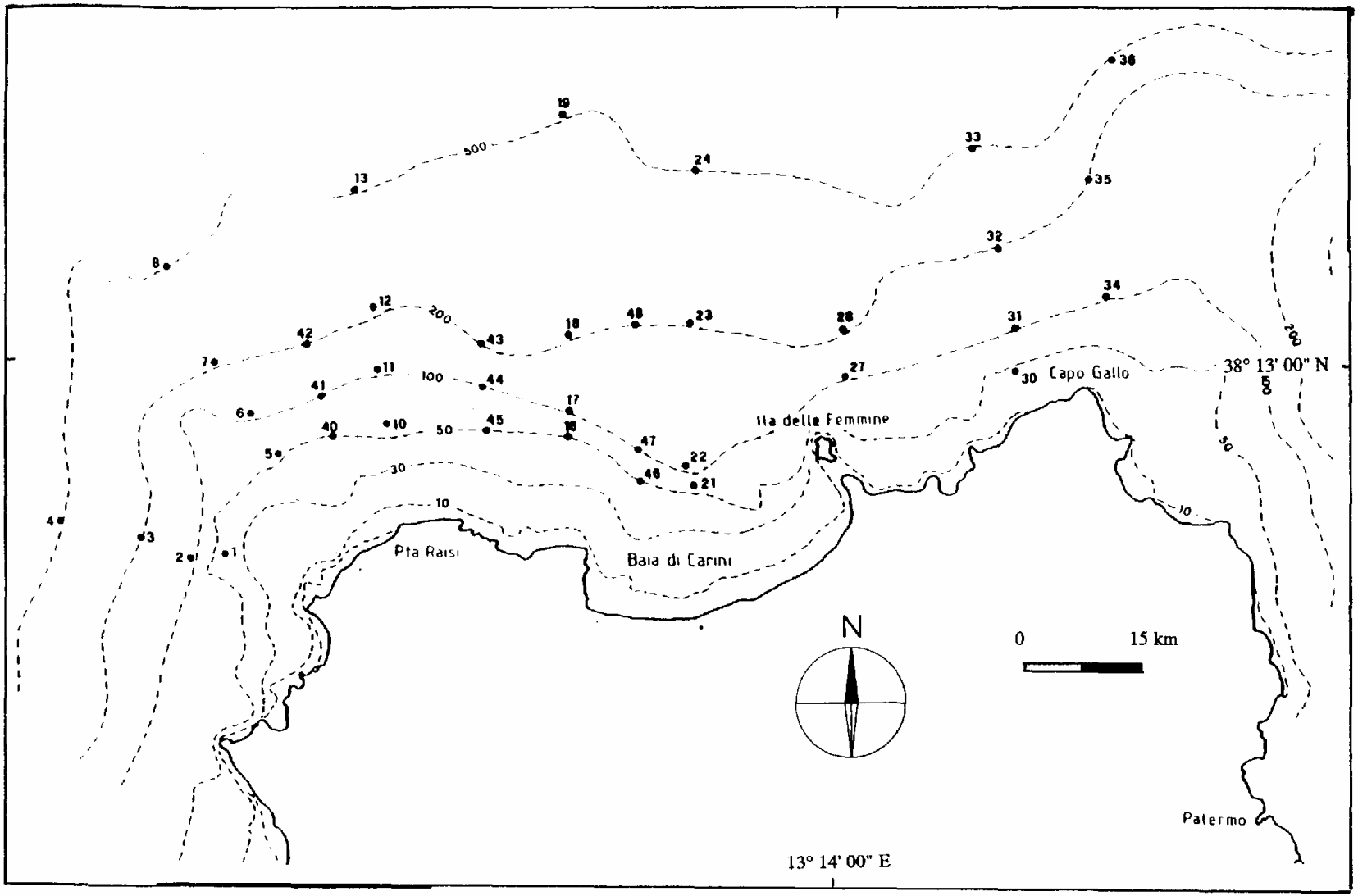


Fig. 2 - Area di campionamento.

Sui campioni di sedimenti superficiali sono state eseguite le analisi mineralogiche, mediante diffrattometria RX, sulla frazione >63 µm e <63 µm, eseguendo i trattamenti di routine per la diagnosi dei minerali argillosi (Veniale et al., 1987).

4. RISULTATI

I dati delle analisi tessiturali sui campioni di sedimenti superficiali hanno caratterizzato un'area con granulometrie da sabbiose a siltoso-argillose (Fig. 3).

In figura 4 e riportata la distribuzione areale della frazione sabbiosa, di particolare importanza nella situazione in esame. La fascia costiera, corrispondente al tratto di piattaforma interna, e caratterizzata da sabbie grossolane biodetritiche (frammenti di bivalvi, echinodermi e alghe calcaree).

Nei tratti di piattaforma esterna continentale i sedimenti risultano sabbioso-siltosi e siltoso-sabbiosi, con componente sabbiosa medio-fine costituita da biodetrito (frammenti di conchiglie e foramniferi) e terrigeno; in alcune zone, prossime ai bordi della piattaforma interna, i sedimenti presentano una componente sabbiosa terrigena con frazione grossolana, costituita da frammenti carbonatici con forme arrotondate e sub-arrotondate.

I sedimenti siltoso-sabbiosi e siltoso-argillosi sono presenti oltre il margine esterno della piattaforma continentale; in questi ultimi e stata riscontrata una debole componente sabbiosa fine (biodetritica e terrigena).

In figura 5 sono riportati gli istogrammi di frequenza lungo un transetto caratteristico (P.ta Raisi) che attraversa la piattaforma continentale, dalla costa verso il largo; si nota come la zona più costiera (Fig. 5a) sia caratterizzata da granulometrie grossolane (fra -1,5 e 1 φ), costituite da sabbie bioclastiche con distribuzione irregolare e alto classamento. Nelle aree più distali della piattaforma, le tessiture risultano più fini (da sabbie medio-fini a siltose), gli istogrammi presentano una distribuzione regolare e i sedimenti risultano molto meno classati (Fig. 5b-c); oltre il margine esterno della piattaforma continentale, i sedimenti diventano siltoso-argillosi (Fig. 5d).

Ben differenti si presentano gli istogrammi granulometrici dell'area ad E di Isola delle Femmine; la zona e caratterizzata da sedimenti sabbioso medio-fini con componente grossolana, nel tratto più costiero, e siltosi nelle zone più profonde (Fig. 6); la componente sabbiosa, da osservazioni al microscopio ottico, risulta costituita da elementi terrigeni e bioclastici fini.

La caratterizzazione tessiturale evidenzia, come di regola, correlazioni fra batimetria e granulometria; nel caso della Baia di Carini, la struttura dell'Isola delle Femmine divide due distribuzioni granulometriche differenti.

I dati ottenuti dalle analisi mineralogiche relative alla frazione >63 µm sono riportati nella tabella 1; nel transetto di P.ta Raisi (Fig. 7) si osserva come i carbonati di natura biogenica, evidenziati dalla relativa abbondanza di Mg-calcite e aragonite, caratterizzano la piattaforma interna ed esterna sino alla batimetrica dei 200 m; i valori più elevati si osservano nella zona centro-occidentale della piattaforma interna, nella quale sono stati riscontrati i massimi valori di componente sabbiosa biodetritica. La calcite e presente in tutta 1'area esaminata e prevale al largo; dalle osservazioni al microscopio ottico, si è potuto distinguere quella di natura organogena che prevale sottocosta, da quella terri-

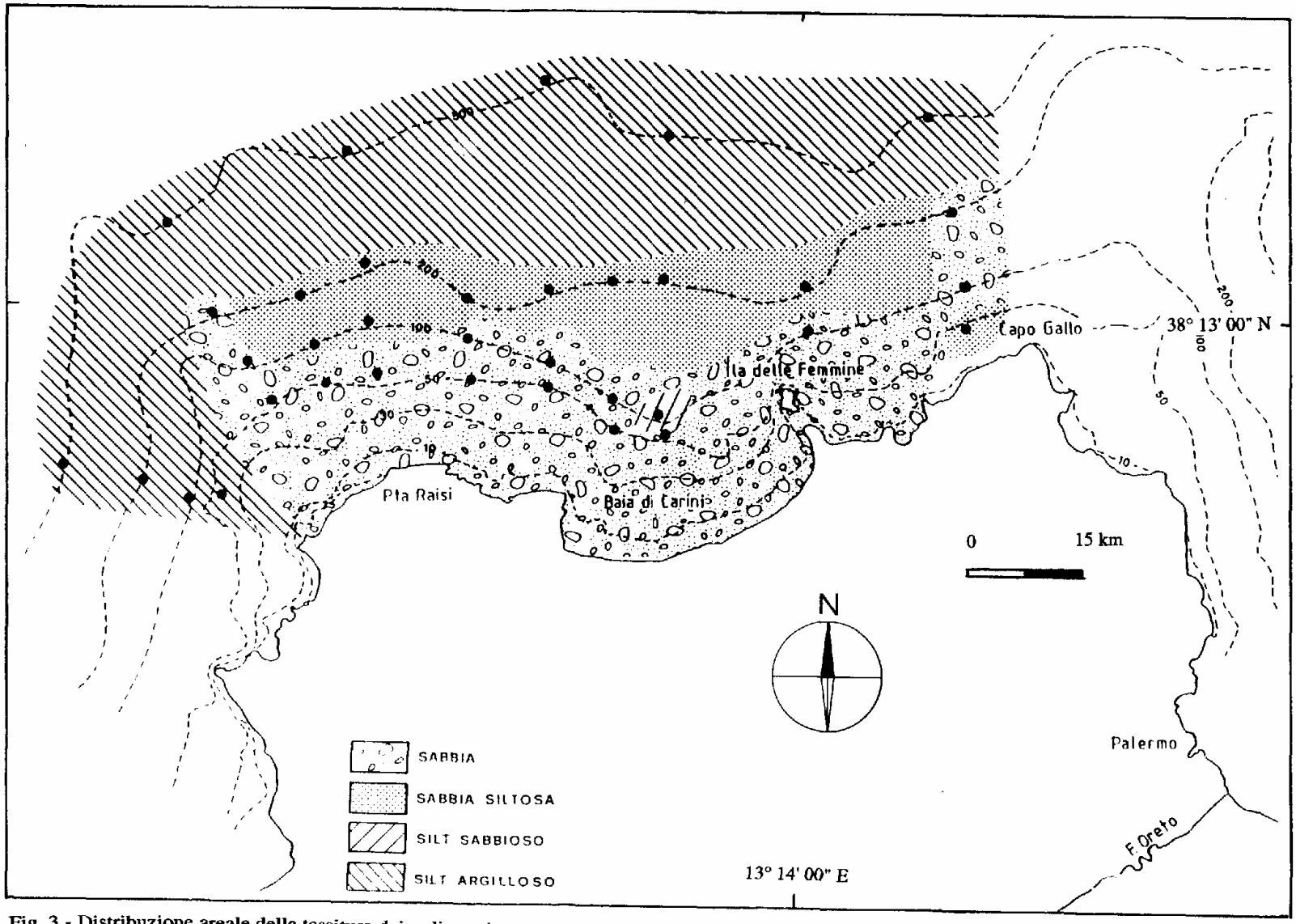


Fig. 3 - Distribuzione areale della tessitura dei sedimenti superficiali.

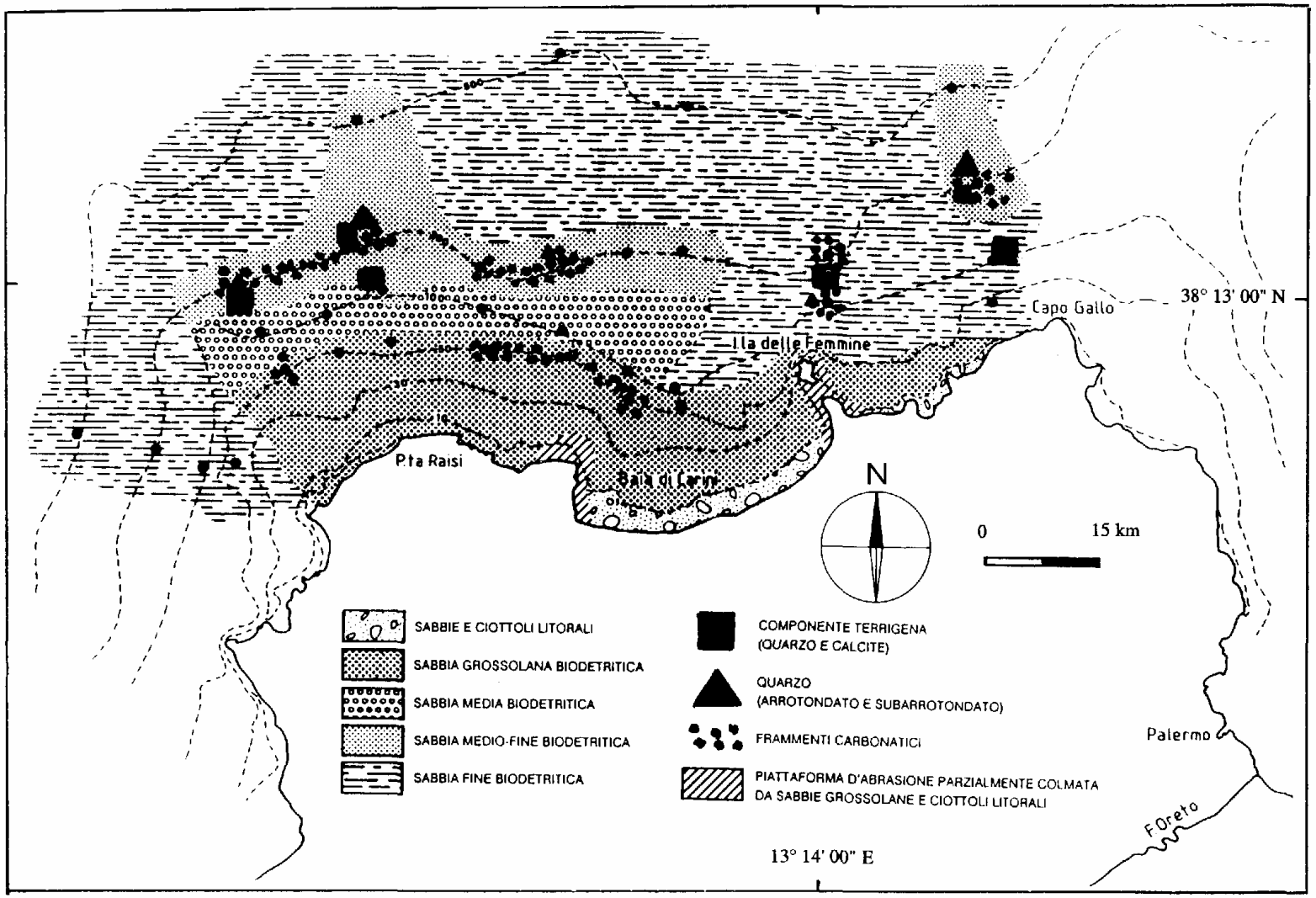


Fig. 4 - Caratteri tessiturali e composizionali della frazione sabbiosa: la fascia costiera è caratterizzata da sabbie grossolane bioclastiche con presenza di frammenti rocciosi carbonatici. Oltre il bordo progradante della piattaforma interna, le sabbie risultano medio-fini costituite da bioclasti e, in alcuni settori della piattaforma, da minerali terrigeni (quarzo e calcite).

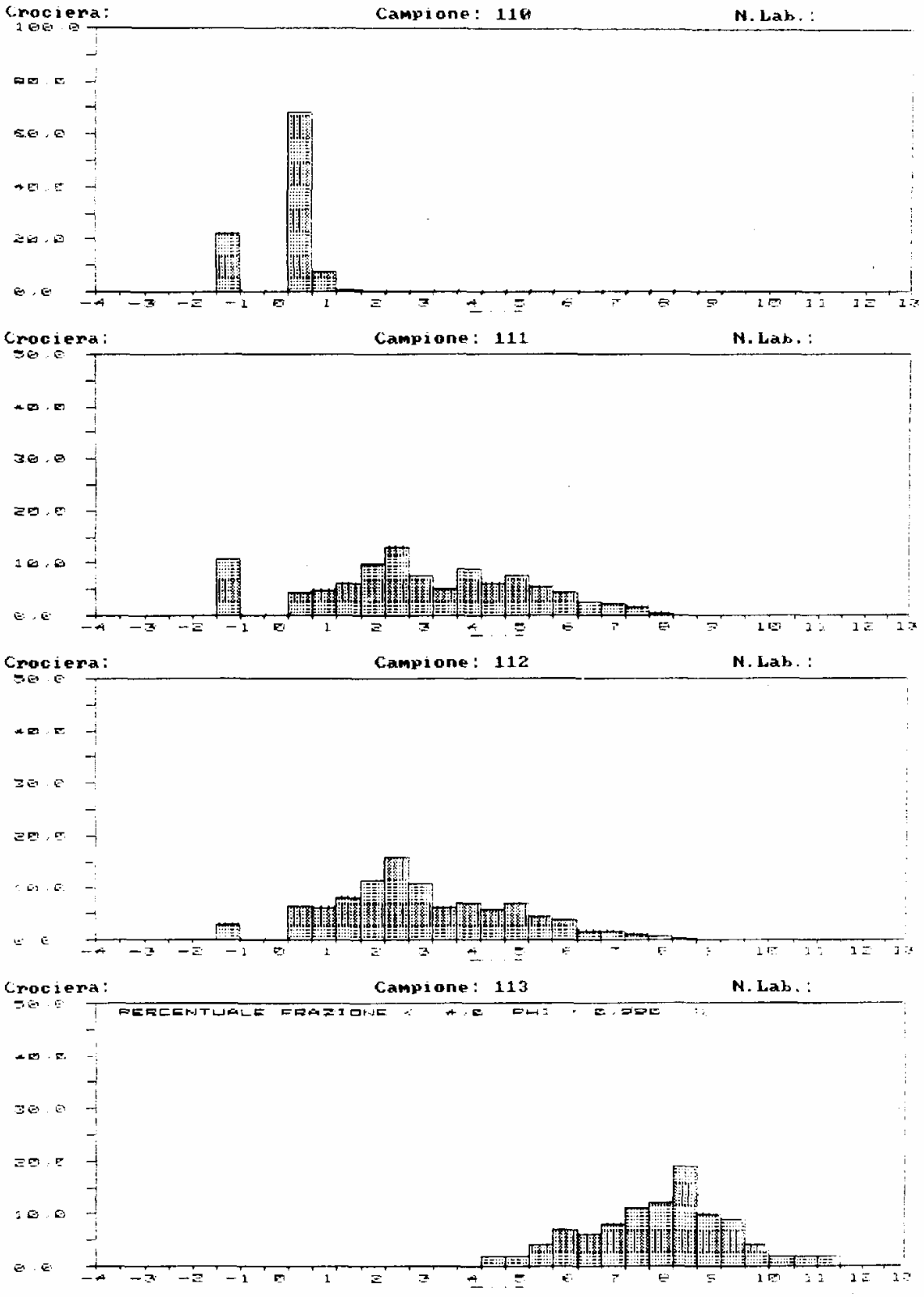


Fig. 5 - Punta Raisi: istogrammi di frequenza (dalla costa verso il largo). Si nota un'evidente differenza tessiturale fra il settore costiero e quelli più profondi della piattaforma.

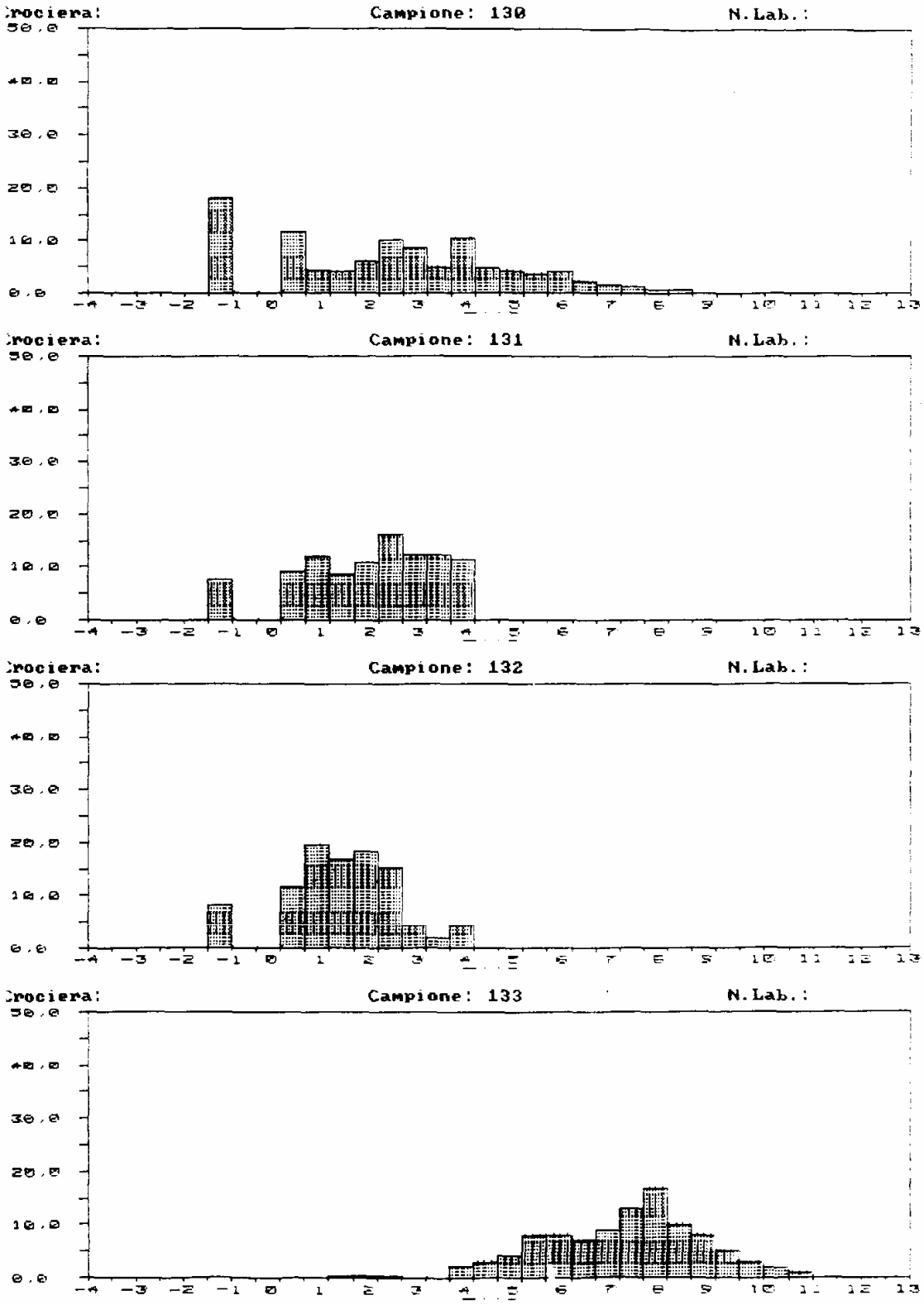


Fig. 6 - Capo Gallo: istogrammi di frequenza (dalla costa verso il largo). I sedimenti di quest'area si presentano con granulometrie medio-fini (associate a sabbia grossolana) e siltoso-argillose.

Tab. 1 - Dati mineralogici relativi alla frazione >63 µm.

Baia di Carini

composizione mineralogica (%): frazione >63 um

camp.	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
101	0	0	0	0	67	2	1	18	0	0	6
103	0	0	0	0	33	0	0	65	0	0	2
104	0	0	0	0	47	0	0	53	0	0	0
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
105	0	0	0	0	2	0	0	0	52	46	0
106	0	0	0	0	7	6	0	21	26	37	3
107	0	0	0	0	19	0	0	43	16	17	5
108	0	0	0	0	23	0	0	67	0	6	8
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
140	0	0	0	0	0	0	0	9	46	45	0
141	0	0	0	0	5	0	0	33	29	29	4
142	0	0	0	0	10	0	0	48	18	17	7
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
110	0	0	0	0	6	0	0	28	32	34	0
111	0	0	0	0	8	0	1	45	20	24	2
112	0	0	0	0	17	1	0	40	22	20	0
113	0	0	0	0	13	2	1	75	0	9	0
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
145	0	0	0	0	0	0	0	17	40	43	0
144	0	0	0	0	12	4	0	35	25	19	5
143	0	0	0	0	5	0	0	38	32	24	1
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
116	0	0	0	0	0	0	0	0	42	57	1
117	0	0	0	0	0	0	0	30	36	32	2
118	0	0	0	0	17	0	0	46	17	18	2
119	0	0	0	0	14	0	0	70	0	14	2
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
146	0	0	0	0	7	0	0	18	44	31	0
147	0	0	0	0	12	0	0	32	29	25	2
148	0	0	0	0	13	0	0	46	19	18	4
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
121	0	0	0	0	0	0	0	17	47	36	0
122	0	0	0	0	3	0	2	26	36	24	9
123	0	0	0	0	11	0	0	47	19	21	2
124	0	0	0	0	16	0	1	52	11	17	3
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
127	0	0	0	0	6	0	0	22	25	16	31
128	0	0	0	0	5	0	1	36	25	17	16
	Sm	V	Ch	Int	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
130	0	0	0	0	10	0	1	22	36	18	13
131	0	0	0	0	7	0	0	27	33	24	9
132	0	0	0	0	8	0	0	41	22	21	8
133	0	0	0	0	13	0	0	77	0	7	3

Sm = smectite; V = vermiculite; Ch = clorite; Int = interstratificato, Qz = quarzo; K-F = feldspato
Pl = plagioclasio; Cc = calcite; Mg-Cc = Mg-calcite, Ar = aragonite, Dol = dolomite

gena, più abbondante nelle zone più distali della piattaforma esterna, associata alla calcite di natura bioclastica.

La dolomite e particolarmente abbondante nella zona orientale (Fig. 8); la presenza e correlabile alle formazioni continentali rappresentate da affioramenti carbonatici dolomitici direttamente esposti sul mare.

I feldspati sono scarsi, il quarzo e presente in tutto 1'area indagata e assume le percentuali più elevate a profondità maggiori e nelle zone dove e presente una componente terrigena prevalente.

Nella frazione <63 µm (Tab. 2), quarzo e calcite rappresentano i componenti principali; in particolare, nella fascia di piattaforma continentale compresa fra la costa ed il margine esterno, e presente la dolomite (assente o scarsa nella fraz. >63 (µm). I carbonati biogenici sono assenti o molto scarsi, in quanto la loro presenza e essenzialmente legata alle frazioni biodetritiche grossolane. I minerali argillosi risultano scarsi o assenti (Figg. 9 e 10), ad eccezione di illite e caolinite che presentano valori crescenti verso le zone più profonde, caratterizzate da tessiture essenzialmente pelitiche; da mettere in evidenza nel transetto più occidentale, la presenza di minerali come smectite e vermiculite, assenti nel resto dell'area e che separano una discontinuità mineralogica che corrisponde e indica il limite fra due domini sedimentari: il Golfo di Castellammare e la Baia di Carini, influenzati da processi di trasporto e sedimentazione ben diversi.

In base alle associazioni mineralogiche ottenute, e stato possibile dividere la piattaforma continentale in quattro zone principali, mediante associazioni mineralogiche (Fig. 11):

- zona costiera (W di Isola delle Femmine) sino al margine esterno della piattaforma continentale, caratterizzata da Mg-calcite + aragonite, associata a calcite nel settore centro-orientale;
- zona esterna (W di Isola delle Femmine), fra il margine esterno e il bordo progradante della piattaforma continentale, con calcite + Mg-calcite + aragonite + quarzo;
- zona ad E di Isola delle Femmine, fra la batimetrica dei 50 m e il bordo progradante della piattaforma, con calcite + Mg-calcite + aragonite + dolomite;
- zona ad E di Isola delle Femmine (prospiciente Capo Gallo), che interessa 1'intera piattaforma, con Mg-calcite + aragonite + calcite + dolomite + quarzo.

I carbonati biogenici si rinvengono con i tenori più elevati nella fascia strettamente costiera, evidenziando delle zone con percentuali più elevate di Mg-calcite e aragonite nell'area occidentale, ed associati a calcite e dolomite, nella zona centro-orientale ed orientale sino alla piattaforma esterna.

II contenuto dei carbonati biogenici risulta decrescente verso il largo con un aumento della componente quarzosa, proveniente dalla frazione terrigena medio-fine riscontrata oltre il bordo progradante della piattaforma interna.

La zona delle piana batiale (oltre i -200 m) risulta avere composizione omogenea in tutta 1'area ed essenzialmente sono presenti calcite + quarzo.

5. CONCLUSIONI

La caratterizzazione tessiturale (essenzialmente legata alle batimetrie) e le associazioni mineralogiche dei sedimenti hanno consentito di integrare le informazioni

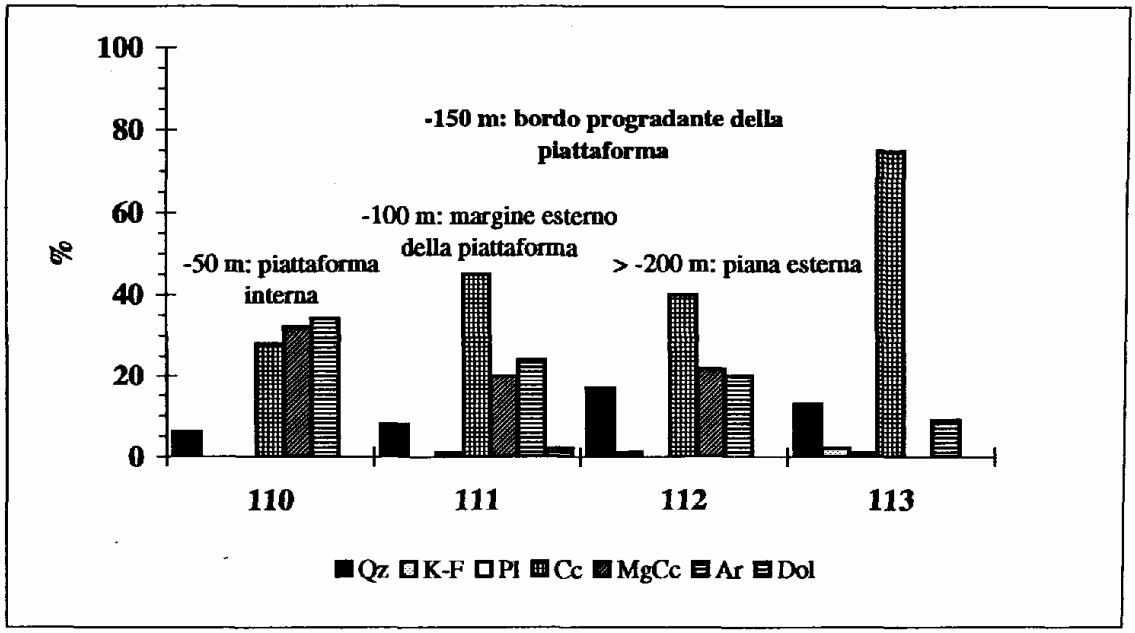


Fig. 7 - P.ta Raisi: composizione mineralogica (frazione >63 μm) dei settori di piattaforma. Il settore più costiero è costituito, in prevalenza, da carbonati biogenici; nei tratti più distali si osserva un aumento della calcite (biogenica e terrigena) e del quarzo.
Qz = quarzo; Cc = calcite; Mg-Cc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite

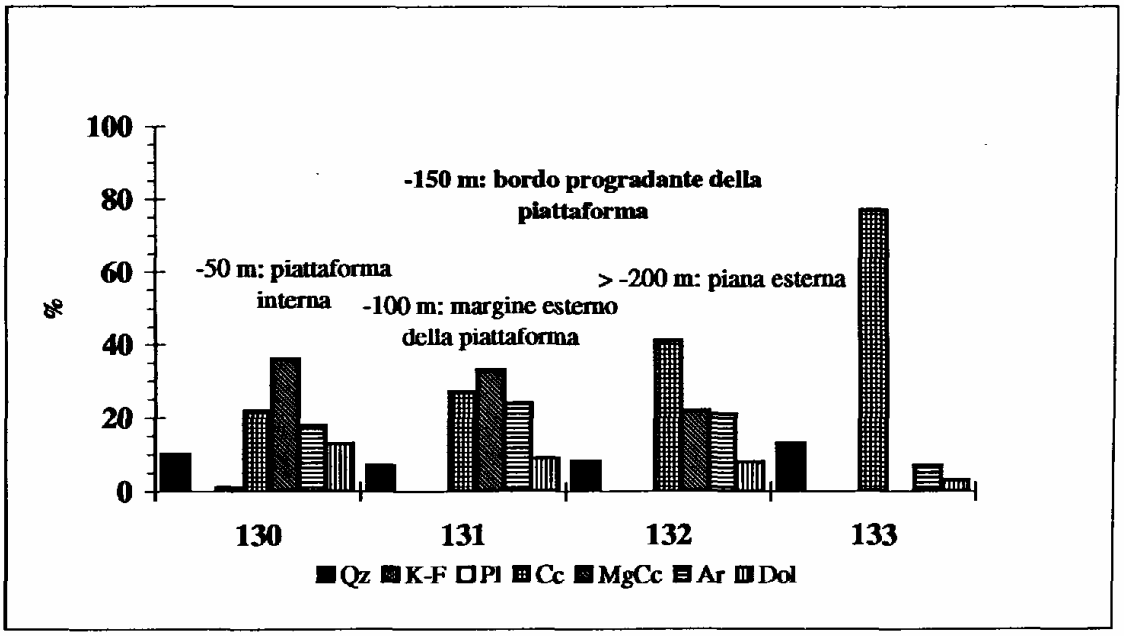


Fig. 8 - Capo Gallo: composizione mineralogica (frazione >63 μm) dei settori di piattaforma. Nell'istogramma si osserva la presenza di dolomite (legata alle formazioni continentali).
Qz = quarzo; Cc = calcite; Mg-Cc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite

Tab. 2 - Dati mineralogici relativi alla frazione <63 µm.

Baia di Carini
composizione mineralogica (%): frazione <63um

	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
101	7	3	0	0	4	6	45	7	1	15	2	0	10
102	5	5	2	0	8	18	33	3	2	21	0	0	3
103	7	3	1	0	5	9	35	2	2	14	0	0	22
104	0	0	2	0	10	19	30	3	2	30	0	0	4
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
*105													
106	0	0	2	0	5	16	45	7	1	16	0	0	8
107	0	0	2	0	8	14	45	2	3	19	0	0	7
108	0	0	4	0	7	16	33	2	1	30	0	0	7
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
*140													
141	0	0	1	0	4	7	48	4	5	11	2	0	18
142	0	0	1	0	6	11	54	3	2	15	0	0	8
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
110	0	0	0	0	3	15	26	12	2	24	7	0	11
111	0	0	2	0	4	6	51	5	3	15	0	0	14
112	0	0	3	0	5	10	39	3	3	20	9	0	8
113	0	0	4	0	7	16	31	3	2	34	0	0	3
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
*145													
*144													
143	3	3	2	0	4	9	42	4	4	18	2	0	9
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
116	0	0	0	0	5	11	33	4	2	26	12	0	7
117	0	0	0	0	4	11	45	0	3	18	5	0	14
118	0	0	1	0	6	10	41	2	2	26	4	0	8
119	0	0	4	0	10	16	27	0	2	34	4	0	3
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
*146													
*147													
148	6	3	1	0	4	7	39	9	3	15	4	0	9
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
*121													
122	0	0	1	0	3	9	26	0	5	16	12	10	18
123	0	0	0	0	3	10	41	3	3	19	5	7	9
124	0	0	2	0	9	19	32	0	4	30	0	0	4
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
*127													
128	0	0	1	0	3	10	28	2	2	16	9	7	22
	Sm	V	Ch	Int	I	K	Qz	K-F	Pl	Cc	MgCc	Ar	Dol
130	0	0	1	0	0	6	17	0	1	14	10	7	44
*131													
*132													
133	11	0	3	0	6	17	21	3	2	30	4	0	3

Sm = smectite; V = vermiculite; Ch = clorite; Int = interstratificato; I = illite; K = caolinite; Qz = quarzo
K-F = feldspato; Pl = plagioclasio; Cc = calcite; MgCc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite
* <63um assente

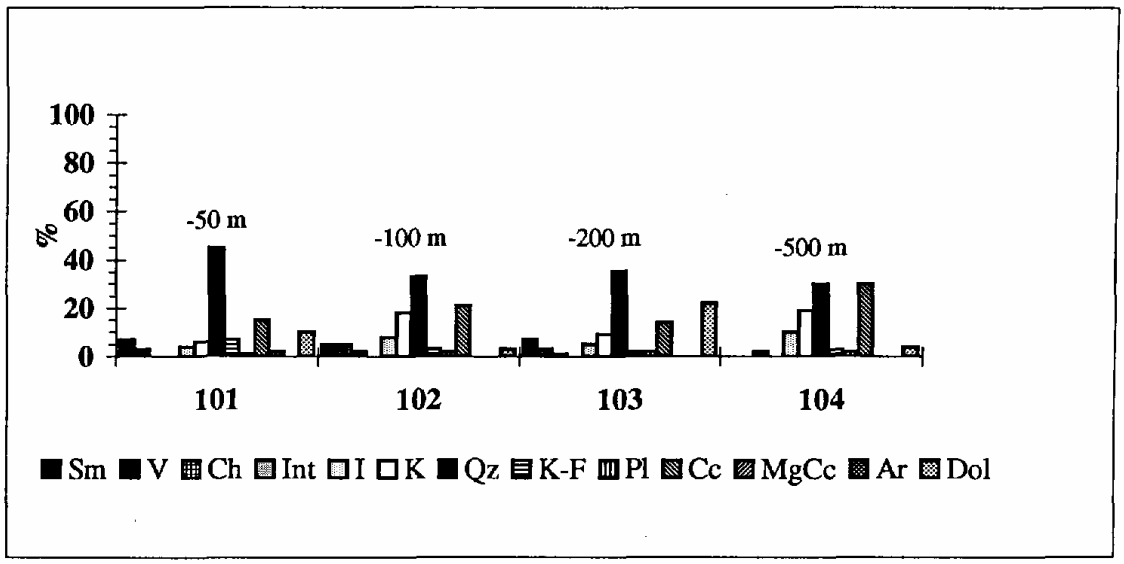


Fig. 9 - Capo Rama: composizione mineralogica (frazione <63 μm) del settore di piattaforma. In questo tratto, che risulta caratterizzato da una sedimentazione pelitica, si riscontra la presenza di minerali argillosi (smectite, vermiculite, illite e caolinite); i carbonati biogenici risultano quasi assenti, al contrario sono presenti i minerali terrigeni (quarzo, calcite, dolomite).
Sm= smectite; V = vermiculite; Ch = clorite; Int = interstratificato; I = illite; K = caolinite
K-F = K-feldspato; Pl = plagioclasio; Cc = calcite; MgCc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite

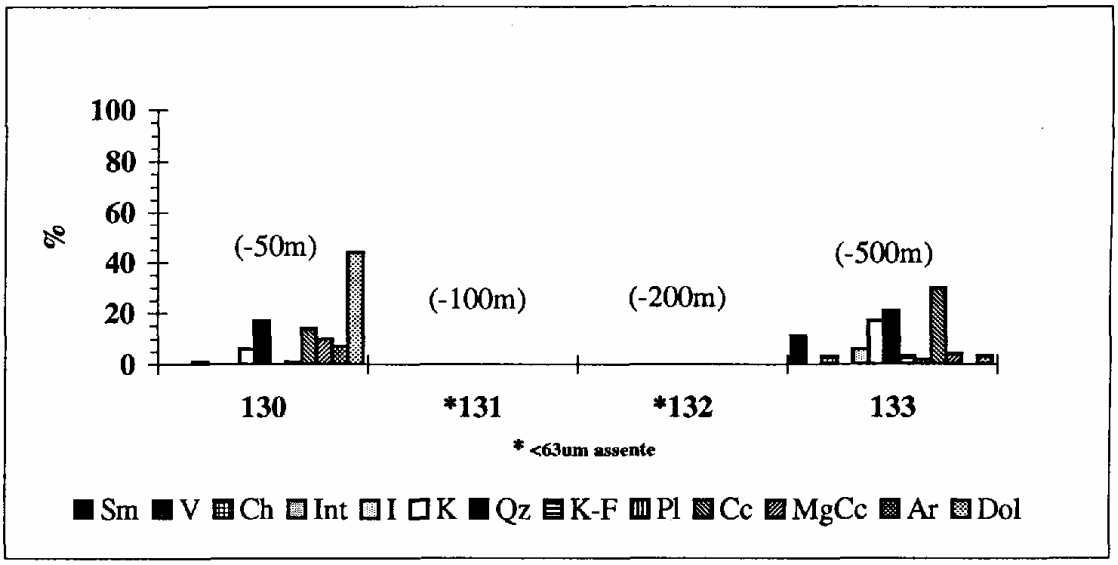


Fig. 10 - Capo Gallo: composizione mineralogica (frazione <63 μm) dei settori di piattaforma. Nei campioni 131 e 132 si riscontra si nota l'assenza di frazione <63μm. I carbonati biogenici non superano il 10%. Dolomite, calcite e quarzo caratterizzano questa zona di piattaforma.
Sm= smectite; V = vermiculite; Ch = clorite; Int = interstratificato; I = illite; K = caolinite
K-F = K-feldspato; Pl = plagioclasio; Cc = calcite; MgCc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite

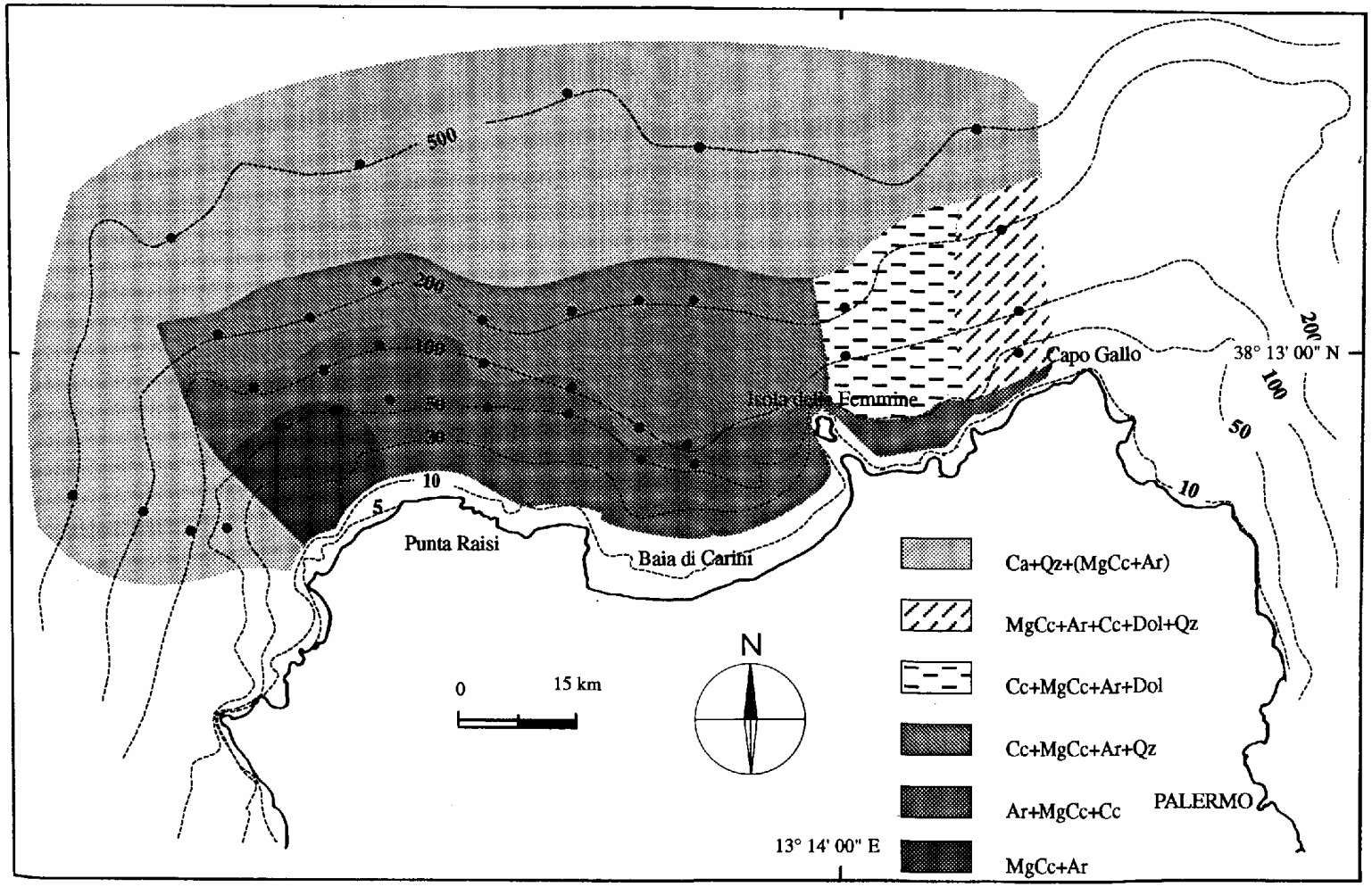


Fig. 11 - Zonazione mineralogica dei settori di piattaforma della Baia di Carini: il settore corrispondente al margine esterno della piattaforma continentale è caratterizzato da una sedimentazione biogenica; segue una fascia, che si estende sino al bordo progradante della piattaforma continentale, con carbonati biogenici associati a minerali di provenienza terrigena. Al largo si osserva una associazione a calcite + quarzo (presenza di Mg-calcite e aragonite).
Qz = quarzo; Cc = calcite; Mg-Cc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite

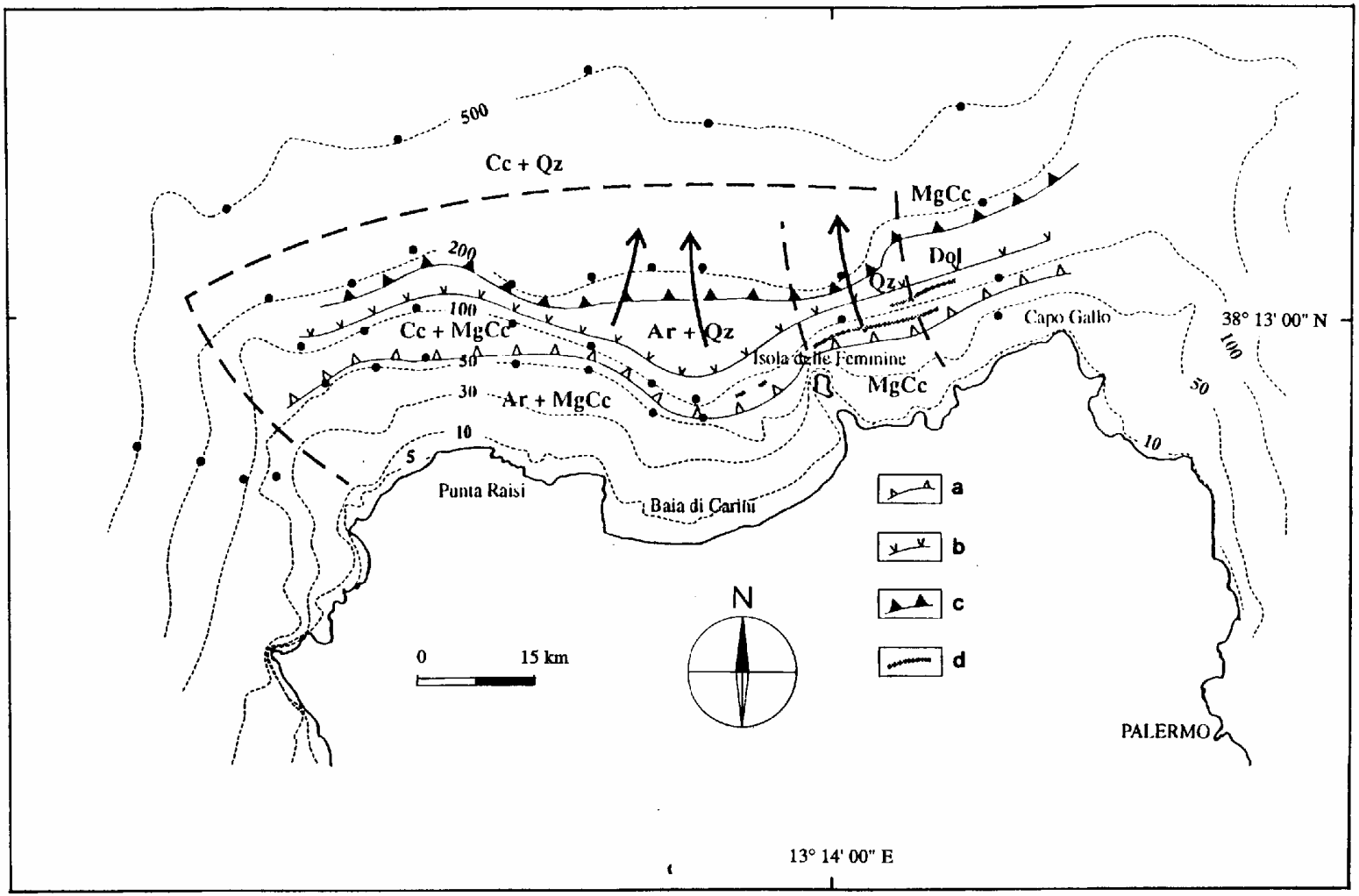


Fig. 12 - Schema delle relazioni fra assetto geomorfologico della piattaforma e composizione mineralogica dei sedimenti (Qz = quarzo; Cc = calcite; Mg-Cc = Mg-calcite; Ar = aragonite; Dol = dolomite).
a) bordo progradante della piattaforma interna; **b)** margine esterno della piattaforma continentale; **c)** bordo progradante della piattaforma continentale; **d)** beach rock

sull'assetto morfologico dell'area in esame ed hanno permesso di individuare quattro settori nella piattaforma continentale antistante la Baia di Carini con composizioni mineralogiche che risultano strettamente legate alla geomorfologia dell'area. Le associazioni mineralogiche differenziano nettamente due settori a E e W dell'Isola delle Femmine; nell'ambito della stessa situazione morfologica, inoltre, si possono rinvenire associazioni mineralogiche differenti.

Fra i componenti carbonatici, calcite e dolomite sono legate agli apporti continentali; al contrario, la distribuzione dei carbonati di natura biogenica (aragonite e Mg-calcite) è influenzata dalle differenti tanatocenosi (Sholle, 1978; in Boggs, 1992; Bosellini et al., 1989) autoctone e alloctone che sono state riscontrate nell'area.

La mineralogia dei sedimenti ha evidenziato, inoltre, una relazione fra i vari settori della piattaforma marina e il loro assetto morfologico: per esempio, la presenza dei carbonati biogenici, rinvenuta in alcune zone oltre il margine esterno della piattaforma, è probabilmente legata ai canali che incidono i vari tratti di piattaforma e che risultano delle vie preferenziali di trasporto sedimentario a batimetrie più profonde. L'aragonite e Mg-calcite rinvenute nella zona più interna della piattaforma sono legate sia alla presenza di organismi tipici di quelle batimetrie sia al possibile disfacimento delle *beach rock* presenti a diverse profondità.

Le differenze composizionali che si riscontrano in senso longitudinale, sono da attribuire a particolari strutture della piattaforma; la presenza di dorsali sommerse ad andamento N-S rappresentano delle soglie morfologiche che limitano il trasporto parallelo alla costa.

I caratteri composizionali dei sedimenti permettono di evidenziare delle differenze nell'ambito di situazioni morfologiche apparentemente simili; in tal modo contribuiscono ad una mappatura di maggiore dettaglio dei caratteri sedimentologici e geomorfologici dei fondali (Fig. 12).

BIBLIOGRAFIA

Abate, B., R. Catalano & P. Renda. 1978. Schema geologico dei Monti di Palermo. *Boll. Soc. Geol. It.,* 97:807-819.

Boggs, S. Jr. 1992. Petrology of sedimentary rocks. Macmillan Publishing Company, New York.

Bosellini, A., E. Mutti, & F. Ricci Lucchi. 1989 - Rocce e successioni sedimentarie. Ed. UTET, Torino.

Catalano, R., B. Abate & P. Renda. 1979. Carta geologica dei Monti di Palermo, scala 1:50.000 e note illustrative. Istituto di Geologia, Università di Palermo.

Lucido, M. 1992. Geomorfologia della piattaforma continentale tra Torre Pozzillo e Torre Mondello (Sicilia nord-occidentale). *Nat. Sicil.,* S. IV, XVI (1-2): 91-107.

Sholle, P.A. 1978. Carbonate rocks constituents, textures, cements and porosities. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Mem.,* 27: 11.

Veniale, F., M. Setti, & M. Tortelli. 1987. Influenza delle procedure sui preparati di "polveri" per analisi diffrattometrica RX. Atti del Workshop ENEA CREA S. Teresa, maggio 1987. *Collana Studi Ambientali,* ENEA.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 541 - 549

LA FAUNA MACROBENTONICA LITORALE DEL LAGO D'ORTA DOPO IL LIMING

Marina TESAURO[1], Ettore BIELLI[2], Mario COTTA RAMUSINO[1]
e Bruno ROSSARO[1]

[1]Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Milano
Via Celoria 26, 2013 3 Milano
[2]Azienda USL n°13, Laboratorio di Sanità Pubblica
V.le Roma 7/D, 28100 Novara

ABSTRACT

The effects of liming on the littoral benthonic fauna of the Orta Lake in the *Phragmites communis* macrophyte banks were analyzed with multivariate analysis (Canonical Correspondence analysis = CCA). Mergozzo lake fauna was included in the sampling plan for comparison. An amelioration of chemical conditions was emphasized, but a faunal improvement is not clearly demonstrated.

1. INTRODUZIONE

Il lago d'Orta e un lago subalpino di origine glaciale, situate in Italia nord-occidentale, nel bacino idrografico del lago Maggiore, in provincia di Novara. Ha una lunghezza di circa 12 km, una larghezza media di 1,4 km, una superficie di circa 18 km^2 , una profondità massima di 143 m, una profondità media di 69,3 m e un tempo teorico di ricambio di 8,5 anni (Carollo & Libera, 1990). Dal punto di vista litologico, il lago è impostato su rocce intrusive acide poco solubili, costituite da gneiss, micascisti e graniti con affioramenti di porfido: a causa di questa composizione la riserva alcalina è molto bassa.

Come noto, l'inquinamento comincio nel 1926 quando un'industria produttrice di rayon con il metodo cupro-ammoniacale, Bemberg, si stabili a Gozzano, nella zona meridionale del lago. Le acque di lavorazione fortemente inquinate da solfato d'ammonio e rame venivano sommariamente trattate e scaricate direttamente nel lago con effetti disastrosi sia dal punto di vista biologico che chimico. Monti (1930) evidenzio la quasi totale scomparsa di zooplancton e fitoplancton nelle acque pelagiche e ipotizzò che 1'azione tossica fosse dovuta agli ioni rame.

Venti anni dopo Baldi (1949) verifico la scomparsa totale del plancton e dell'ittiofauna. Sotto 1'aspetto chimico si noto un incremento della concentrazione media di rame, ammonio, nitrati e il rapido consumo dell'ossigeno disciolto e della scarsa

riserva alcalina del lago che comporto un'acidificazione delle acque a causa della reazione di nitrificazione ($NH_4^+ + O_2 \leftrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$) attiva a pH superiori a 4,6-4,8 e bloccata a pH inferiori a 3,9. Nel 1958 inizio a funzionare un impianto di depurazione delle acque di scarico della Bemberg, che comporto un rapido decremento del rame. Contemporaneamente, pero, iniziarono le immissioni nel lago di altro rame, zinco, nichel e cromo provenienti dalle Industrie elettrogalvaniche in rapido sviluppo in quel periodo. Vollenweider (1963), attraverso un modello di massa, previde che soltanto verso gli anni '93-'95 si sarebbero raggiunte le condizioni di neutralizzazione completa dell'acidità totale presente e che sarebbero occorsi altri 15-20 anni per raggiungere un'alcalinità in equilibrio con gli apporti naturali del bacino imbrifero. Negli anni '80 entro in funzione un nuovo impianto di depurazione che consente di abbattere la concentrazione di rame e ammonio ma, nonostante questi interventi, non si rilevo un'evoluzione positiva delle caratteristiche chimiche delle acque lacustri: il pH costantemente acido nell'intera massa lacustre rallentava e addirittura bloccava il processo di nitrificazione. In mancanza di un apporto basico naturale che permettesse di raggiungere pH di 4,8,1'unico meccanismo di eliminazione dell'ammonio restava la fuoriuscita attraverso il solo emissario (torrente Nigoglia).

Nel 1986 venne proposto dall'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza un intervento di liming, gia impiegato con successo in laghi scandinavi compromessi dalle piogge acide, che consiste in una neutralizzazione delle acque per aggiunta di carbonati (Bonacina et al.,1987). Per questa operazione furono utilizzate 10.900 t di carbonati di origine naturale e di granulometria fine. L'intervento, iniziato nel maggio 1989, è proseguito fino al giugno 1990.

2. SCOPO DELLA RICERCA

Lo scopo di questa ricerca e stato duplice:

1. verificare le caratteristiche chimiche e fisiche delle acque del lago d'Orta paragonate a quelle precedenti le operazioni di liming;
2. verificare gli effetti indotti dal liming sulla consistenza del popolamento macrobentonico nella zona litorale del lago d'Orta in cinque stazioni,confrontate con una sesta situata sul lago di Mergozzo.

Quest'ultima e stata scelta perchè ambedue i bacini lacustri sono impostati su rocce intrusive acide poco solubili che conferiscono alle acque del lago di Mergozzo caratteristiche chimiche simili a quelle del lago d'Orta prima dell'inquinamento. Inoltre perchè il livello trofico, inteso come rapporto volume/popolazione con presenza di scarichi non depurati, nel lago di Mergozzo e simile a quello del lago d'Orta prima dell'inquinamento.

3. MATERIALIE METODI

Le stazioni di campionamento lungo il lago d'Orta sono riportate in Fig. 1. In particolare e stata scelta la stazione a San Maurizio d'Opaglio, località Pascolo, perchè situata a poche decine di metri dallo scarico Bemberg.

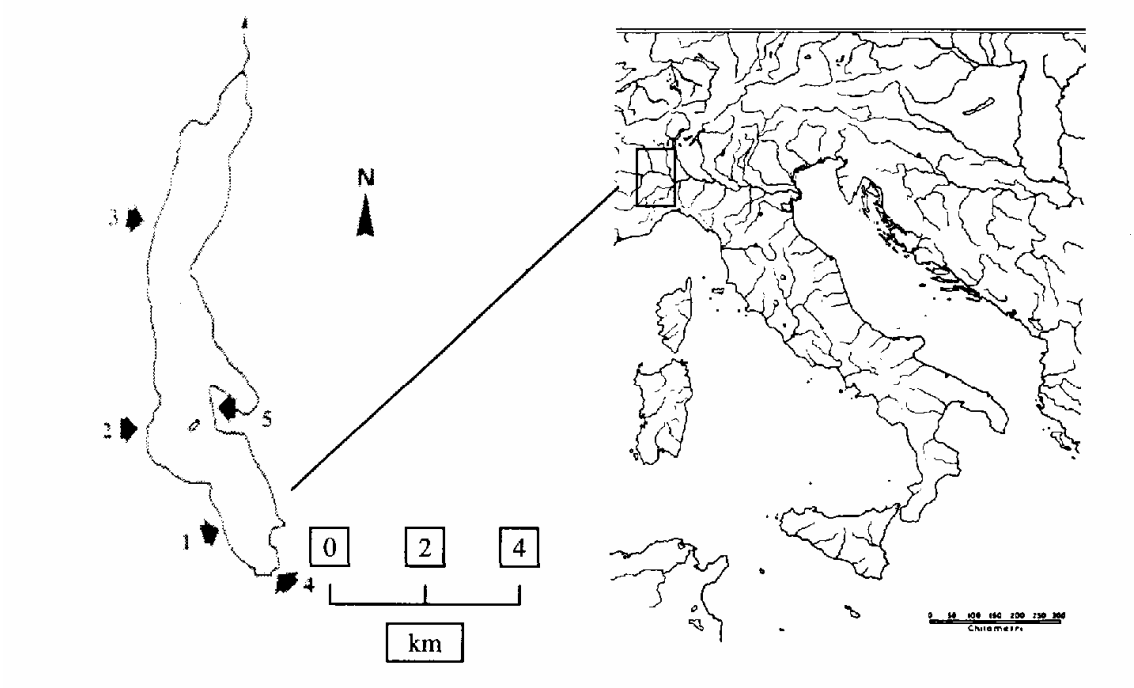


Fig. 1 - Localizzazione delle stazioni di campionamento: 1. San Maurizio d'Opaglio, loc. Pascolo; 2. Pella, loc. Lagna; 3. Oira, loc. Nonio; 4. Gozzano, loc. lido Miami; 5. Orta, loc. Punta Movero.

In entrambi i laghi le raccolte sono state effettuate su substrato sassoso, in prossimità di banchi di *Phragmites communis,* su un'area di circa 1 m con un retino immanicato di 25 cm di larghezza. I prelievi sono stati effettuati ogni due mesi, dal dicembre 1992 al novembre 1993. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli dei campionamenti condotti nelle medesime stazioni negli anni 1987-88-90, prima e durante 1'operazione di liming. I parametri chimici e fisici analizzati sono stati: temperatura dell'acqua, pH, conducibilità, durezza, alcalinità, nitrati, nitriti, ammoniaca, ossigeno disciolto e sua percentuale di saturazione, fosforo totale, clorofilla, COD e metalli (Zn, Pb, Ni, Fe, Mn, Cu, Al). I risultati delle analisi chimico-fisiche sono riportati in Appendice. Pertanto nel periodo 1992-1993 erano disponibili due matrici:

1. una matrice fisico-chimica con 36 righe (sei stazioni in sei date di campionamento) e 22 colonne rappresentanti le variabili ambientali;
2. una matrice dei taxa con le stesse 36 righe e 67 colonne rappresentanti i taxa rinvenuti. Ogni casetta della matrice riporta il numero di organismi ritrovati per ogni taxon e rappresenta, quindi, un indice di abbondanza.

Per tutte le 36 raccolte effettuate e stato calcolato 1'indice di diversità di Shannon. Inoltre si e proceduto ad un'analisi diretta del gradiente che si propone di determinare degli assi lungo i quali ordinare i taxa e i siti, in modo da ottimizzare la risposta ai gradienti ambientali (Ter Braak & Prentice, 1988).

4. RISULTATI

Dal punto di vista chimico la situazione e sensibilmente migliorata. Gli effetti riguardano principalmente il sistema acido base e cioè pH, alcalinità e nitrificazione e la concentrazione del metalli responsabile della tossicità delle acque. Il pH e passato da valori medi di 4,5 a 6-7 unita, 1'alcalinità, assente prima del liming, ha raggiunto valori medi intorno a 9 mg 1 ,1'azoto ammoniacale e diminuito a valori inferiori a 0,05 mg l^{-1} . Si è assistito inoltre al calo della concentrazione dei metalli tossici quali rame e cromo.

Per quanto riguarda i risultati biologici, nel corso della ricerca sono stati rinvenuti costantemente nel lago d'Orta e nel lago di Mergozzo organismi appartenenti ai seguenti gruppi: Tricotteri, Odonati, Ditteri, Oligocheti, Irudinei, Megalotteri e Tricladi. In Tab. 1 sono riportati i generi o le specie più comuni. II confronto dei dati ottenuti nel 1992-1993 con quelli del periodo 1987-1988 permette di osservare che in un breve arco di tempo i popolamenti macrobentonici della fascia litorale hanno subito un notevole incremento come numero di individui m^{-2}. Tale incremento ha interessato sia il numero di taxa sia il numero di individui per ogni taxon, come e evidenziato dalla Fig. 2, in cui è ben visibile l'aumento del valore dell'indice di Shannon nella maggior parte delle stazioni; il lago di Mergozzo non mostra, invece, delle differenze sostanziali rispetto al periodo precedente, non essendosi verificate alterazioni a suo carico.

Tab. 1 - Principali taxa rinvenuti nei laghi d'Orta e Mergozzo

	FAMIGLIA	
TRICOTTERI	LEPTOCERIDAE	*Mystacides azurea*
	ECNOMIDAE	*Ecnomus tenellus*
	LIMNEPHILIDAE	*Limnephilus* sp.
	PHRYGANEIDAE	*Agrypnia varia*
ODONATI	COENAGRIONIDAE	*Ischnura elegans*
	CORDULIIDAE	*Somathochlora* sp.
ETEROTTERI	CORIXIDAE	*Micronecta meridionalis*
COLEOTTERI	ELMINTHIDAE	*Esolus* sp.
MEGALOTTERI	SIALIDAE	*Sialis* sp.
TRICLADI	DUGESIIDAE	*Dugesia* sp.
	PLANARIIDAE	*Dendrocoelum lacteum*
		Polycelis sp.
DITTERI	CHIRONOMIDAE	*Dicrotendipes* sp.
		Phaenopsectra sp.
		Paratrichocladius sp.
		Ablabesmyia sp.
IRUDINEI	ERPOBDELLIDAE	*Erpobdella testacea*
	GLOSSIPHONIIDAE	*Glossiphonia* sp.

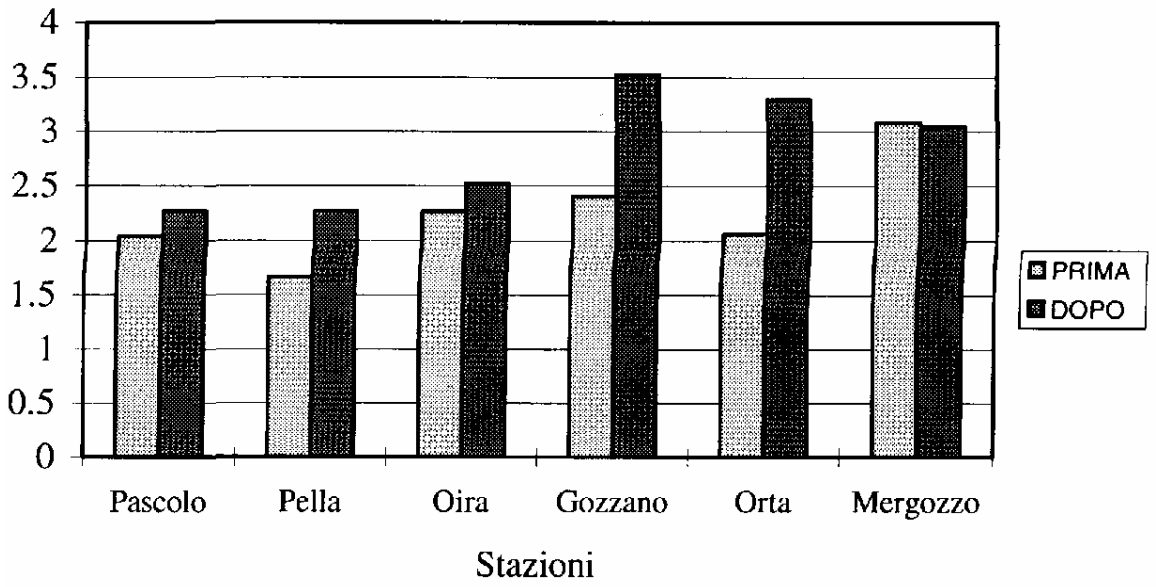


Fig. 2 - Indice di Shannon prima e dopo l'intervento di liming

In particolare nel lago d'Orta si è notato il tentativo di ricolonizzazione da parte di alcuni taxa (Tab. 2)

Tab. 2- Principali taxa rinvenuti nel lago d'Orta prima e dopo l'intervento di liming. (+) indica la presenza del taxon.

	FAMIGLIA		PRIMA	DOPO
TRICOTTERI	LEPTOCERIDAE	*Mystacides azurea*	+	+
	ECNOMIDAE	*Ecnomus tenellus*	+	+
	PHRYGANEIDAE	*Agrypnia varia*	+	+
	LIMNEPHILIDAE	*Limnephilus* sp.		+
ODONATI	COENAGRIONIDAE	*Ischnura elegans*	+	+
		Pyrrosoma nimphula	+	
	CORDULIIDAE	*Somatochlora* sp.		+
	LIBELLULIDAE	*Orthetrum brunneum*	+	
IRUDINEI	ERPOBDELLIDAE	*Erpobdella testacea*	+	+
	GLOSSIPHONIIDAE	*Glossiphonia* sp.		+
ETEROTTERI	CORIXIIDAE	*Micronecta mer.*		+
COLEOTTERI	ELMINTHIDAE	*Esolus* sp.		+
MEGALOTTERI	SIALIDAE	*Sialis* sp.		+
TRICLADI	DUGESIIDAE	*Dugesia* sp.		+
	PLANARIIDAE	*Dendrocoelum lac.*		+
		Polycelis sp.		+
DITTERI	CHIRONOMIDAE		+	+

Per contro rispetto al lago di Mergozzo mancano Efemerotteri, Gasteropodi, Bivalvi e Crostacei (Tab. 3).

Tab. 3 - Principali taxa rinvenuti solo nel lago di Mergozzo.

	FAMIGLIA	
EFEMEROTTERI	CAENIDAE	*Caenis horaria*
	BAETIDAE	*Centroptilum luteolum*
GASTEROPODI	LYMNAEIDAE	*Lymnea auricularia*
	PHYSIDAE	*Physa fontinalis*
	VALVATIDAE	*Valvata piscinalis*
LAMELLIBRANCHI	PISIDIIDAE	*Pisidium* sp.
CROSTACEI	ASELLIDAE	*Asellus aquaticus*
	GAMMARIDAE	*Echinogammarus* sp.

Inoltre il diverso numero di taxa tra Orta e Mergozzo, maggiore in quest'ultimo, conferma che esistono ancora notevoli differenze tra i due laghi (Fig. 3).

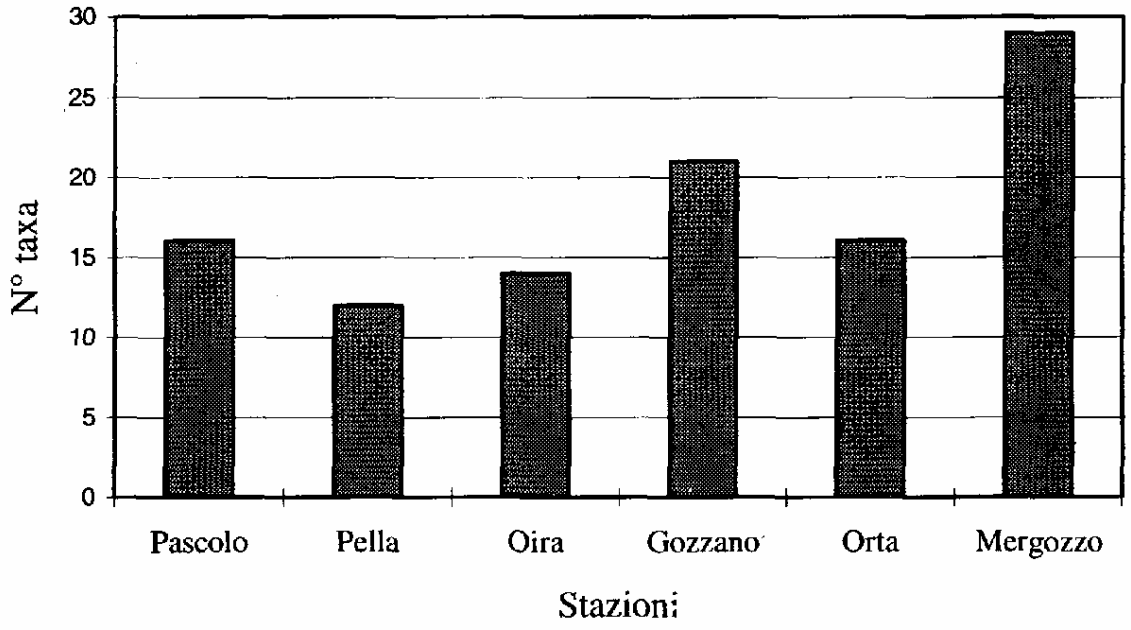


Fig. 3 - Numero dei taxa del lago d'Orta e del lago di Mergozzo.

Tutto questo e confermato da un'analisi diretta del gradiente. In Fig. 4 appare che i siti del lago d'Orta sono ben distinti da quelli del Lago di Mergozzo lungo il 1° asse, mentre il 2° asse evidenzia 1'andamento stagionale dei prelievi (autunno/inverno contro

primavera/estate). D prelievo di Novembre sul lago di Mergozzo si discosta dagli altri effettuati sul medesimo lago a causa delle precipitazioni atmosferiche abbondantissime che hanno comportato alterazioni nelle caratteristiche biologiche del lago, determinando un quadra faunistico impoverito e quindi più simile a quello del lago d'Orta.

Nel grafico che riguarda i taxa (Fig. 5) i generi propri del lago di Mergozzo sono disposti lungo una fascia esterna (in neretto), mentre i taxa posti al centro della figura sono comuni ad entrambi i laghi.

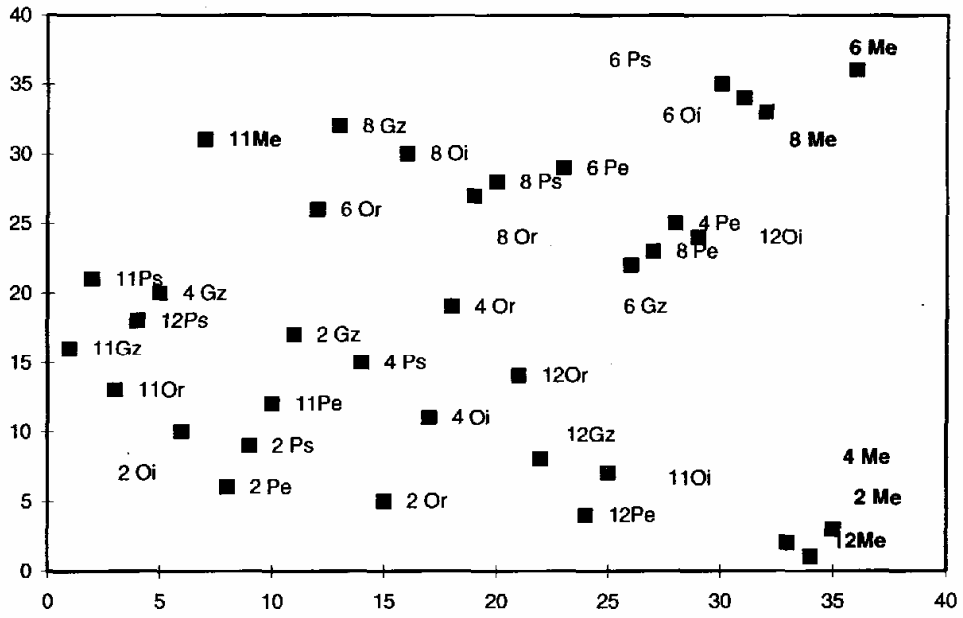


Fig. 4 - Grafico rappresentante i siti del lago d'Orta e del lago di Mergozzo. I numeri rappresentano i mesi in cui è stato effettuato il campionamento. Ps = Pascolo; Pe = Pella; Oi = Oira; Gz = Gozzano; Or = Orta; Me = Mergozzo.

5. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti da questa prima indagine mettono in rilievo che esistono ancora differenze sia qualitative che quantitative tra lago d'Orta e lago di Mergozzo, imputabili principalmente a due fattori:

1. si può ipotizzare che attualmente nel lago d'Orta si sta assistendo ad una colonizzazione da parte di taxa con alte capacita invasive dovute ad elevati tassi di riproduzione e di crescita a cui con ogni probabilità succederanno, a causa della pressione selettiva, specie con potenziale di crescita inferiore ma con maggiore capacità di sopravvivenza alla competizione;
2. l'assenza di alcuni taxa e, d'altro canto, spiegabile con la qualità delle acque lacustri: in particolare i Crostacei sono sensibili all'abbassamento dei valori di pH e alla modesta alcalinità, i Molluschi ai bassi valori di alcalinità, necessaria per la formazione del guscio.

Tuttavia, sulla scorta di queste prime informazioni, sembra lecito ritenere che gli effetti positivi del liming sulle caratteristiche chimiche delle acque del lago si siano riflessi, o si stiano riflettendo, sui popolamenti macrobentonici aumentandone il numero di individui per taxon e il numero di taxa totali.

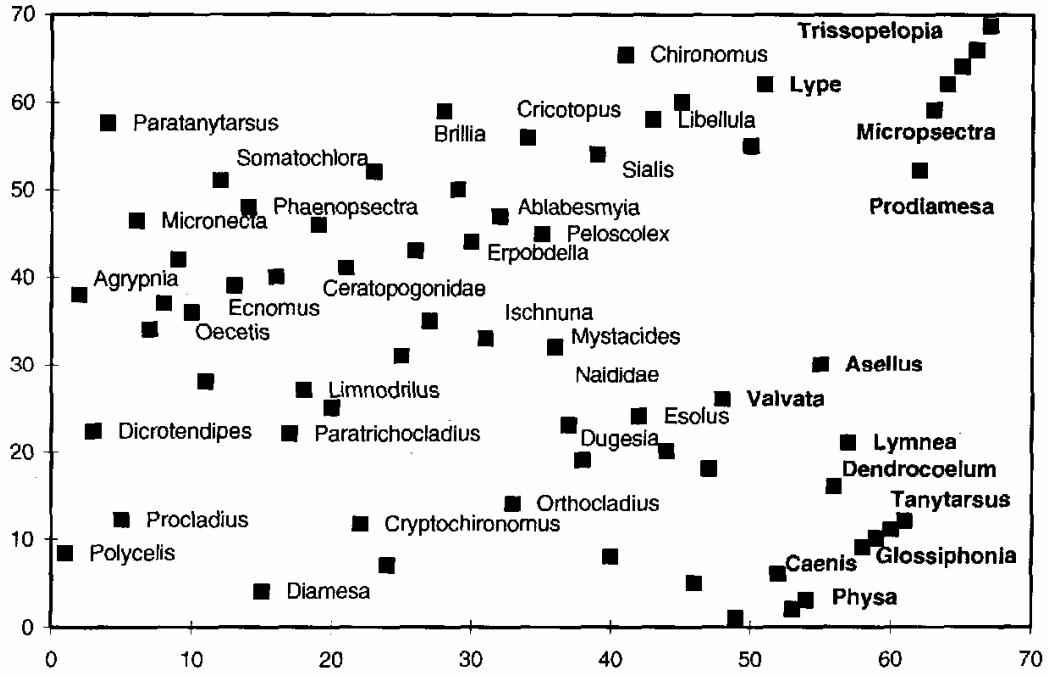


Fig. 5 - Grafico rappresentante i taxa del lago d'Orta e del lago di Mergozzo.

BIBLIOGRAFIA

Baldi, E. 1949. II lago d'Orta, suo declino e condizioni attuali. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.,* 5: 145-188.

Bonacina, C., G. Bonomi, A. Calderoni & R. Mosello. 1987. II lago d'Orta: evoluzione dell'inquinamento ed interventi diretti al recupero di uno dei più grandi laghi acidi del mondo. Atti Simposio "Deposizioni acide: un problema per acque e foreste". *Documentalst. ital. Idrobiol.,* 14: 197-214.

Carollo A. & V. Libera. 1990. Idrologia del bacino idrografico del lago d'Orta. *Documenta 1st. ital. Idrobiol.,* 28: 3-8.

Monti, R. 1930. La graduale estinzione della vita nel Lago d'Orta. *Rend. R. 1st. Lomb. Sc. Lett,* 63: 3-22.

Ter Braak, C.J.F. & T.C. Prentice. 1988. A theory of gradient analysis. *Adv. in Ecol. Res.,* 18:271-317.

Vollenweider, R.A. 1963. Studi sulla situazione attuale del regime chimico e biologico del lago d'Orta. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.,* 16: 21-125.

Appendice: risultati delle analisi chimiche

Mese	Stazione	Temp	pH	Cond	NO_3	NO_2	NH_3	PO_4T	O_2	O_2	COD	Dur	Alc
		°C		µS cm^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}	%	mg l^{-1}	F.D.	mg l^{-1}
XII_92	Ps	8.9	6.8	173	3.1	0.01	0.04	0.05	9	78	5.7	7.45	10.65
XII	Pe	8.9	6.75	104.3	3	0.01	0.04	0.05	9.8	84	1.7	3.8	10.65
XII	Oi	8.9	6.7	103.4	3.4	0.01	0.04	0.05	10	86	3.8	3.6	6.1
XII	Gz	7.9	6.7	113.5	3	0.01	0.04	0.05	10	86	3	5	6.1
XII_92	Or	7.9	6.7	105.4	3.1	0.01	0.04	0.05	10	85	2.2	3.9	6.1
II_93	Ps	6	6.4	111	3.2	0.01	0.04	0.05	11	88	3.7	4.1	9.15
II	Pe	6	6.4	113	3.1	0.01	0.04	0.05	10.5	84	2.2	4.1	6.1
II	Oi	6	6.1	113	3.3	0.01	0.04	0.05	9.2	74	1.5	3.8	4
II	Gz	7.5	6.2	125	3.2	0.1	0.04	0.05	9.1	74	2.2	4.3	9.15
II	Or	7.5	6.2	109	3.3	0.01	0.04	0.05	9.9	81	2.2	4	3.65
IV	Ps	12	6.4	147	3.1	0.01	0.04	0.05	10.7	99	2	5.7	6.1
IV	Pe	14.5	6.4	123	3.1	0.01	0.04	0.05	11	106	2.5	4.2	6.1
IV	Oi	14.5	6.4	115	3.1	0.01	0.04	0.05	11	107	2	4.1	6.1
IV	Gz	11.5	6.3	121	3.1	0.01	0.04	0.05	10.8	99	1.7	4.5	6.1
IV	Or	13.5	6.3	117	3.1	0.01	0.04	0.05	10.6	100	3	4.2	4.5
VI	Ps	21.5	6.9	143	3	0.02	0.1	0.05	9	102	-	5.3	6.1
VI	Pe	22.5	6.9	117	2.9	0.02	0.04	0.05	9	103	1.7	4	6.1
VI	Oi	22	6.9	115	2.9	0.02	0.04	0.05	9	102	2	3.8	6.1
VI	Gz	21	7	120	2.9	0.02	0.04	0.05	9	100	1.2	4	6.1
VI	Or	22.5	6.6	117	2.9	0.01	0.04	0.05	9	103	3.7	3.8	4.6
VIIII	Ps	25	6.7	134	2.8	0.05	0.08	0.05	8	96	1.7	5.4	6.1
VIIII	Pe	25.5	6.8	125	2.8	0.06	0.05	0.05	8	97	1.5	4.8	4.6
VIIII	Oi	25	6.9	120	2.8	0.07	0.04	0.05	8	98	1.2	4.6	6.1
VIIII	Gz	26	6.9	128	2.8	0.08	0.07	0.05	8	96	1.5	5	4.6
VIIII	Or	25.5	6.9	123	2.8	0.07	0.05	0.05	8.1	97	1	4.7	4.6
XI	Ps	13.5	6.8	161	2.6	0.01	0.1	0.04	9.6	92	2	7	6.1
XI	Pe	13	6.8	107	2.6	0.01	0.03	0.04	9.8	92	2.7	4	6.1
XI	Oi	13	6.8	102	2.5	0.01	0.03	0.04	9.9	93	2.5	3.6	6.1
XI	Gz	13	6.7	109	2.6	0.01	0.04	0.04	9.7	92	2.2	4	6.1
XI_93	Or	12.5	6.9	103	2.6	0.01	0.02	0.04	9.8	92	2.2	4	6.1

Anno	Stazione	Temp	pH	Cond	NH_3	Dur	Alc
		°C		µS cm^{-1}	mg l^{-1}	F.D.	mg l^{-1}
87	Ps	-	4.42	115	2.02	2.55	-
87	Pe	-	4.42	115	2.02	2.55	-
87	Oi	-	4.42	115	2.02	2.55	-
87	Gz	-	4.42	115	2.02	2.55	-
87	Or	-	4.42	115	2.02	2.55	-
88	Ps	10.4	5.83	100	0.88	2.9	-
88	Pe	10.3	5.85	97	0.89	2.9	-
88	Oi	10.1	5.5	95	0.92	2.9	-
88	Gz	10.5	5.93	100	0.87	2.9	-
88	Or	10.3	5.83	95	0.88	2.9	-
90	Ps	-	4.98	107	0.7	3.47	0.25
90	Pe	-	4.98	107	0.7	3.47	0.25
90	Oi	-	4.98	107	0.7	3.47	0.25
90	Gz	-	4.98	107	0.7	3.47	0.25
90	Or	-	4.98	107	0.7	3.47	0.25

Atti dell'11" Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologi
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 551 - 561

STUDY OF A SELECTIVE SEQUENTIAL EXTRACTION SCHEME FOR CU, CR, FE AND AL SPECIATION IN MARINE PARTICULATE BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM-EDX) AND ABSORPTION AND EMISSION SPECTROSCOPY (ETA-AAS AND ICP-AES)

Carmela IANNI[1], Franca BAFFI[1], Marco RAVERA[2],
Francesco SOGGIA[1] and Roberto FRACHE[1]

[1]Istituto di Chimica Generale - Cattedra di Chimica Analitica - Università di Genova
Viale Benedetto XV, 3-16132 Genova, Italia
[2]ITIS A. Gastaldi, Via Milano - 16126 Genova, Italia

RIASSUNTO

II particolato marino sospeso riveste una notevole importanza nei confronti dei cicli biogeochimici nell'ecosistema marine e quindi si intuisce la necessita di approfondire gli studi sulla distribuzione di elementi maggiori e/o in tracce nel particolato stesso.

Per questi motivi si è pensato di applicare al particolato una procedura di estrazioni sequenziali selettive gia usata nel nostro laboratorio per i sedimenti marini, effettuando una serie di lavori preliminari consistenti nella verifica dell'efficacia delle estrazioni selettive, nell'adattamento della procedura a minori quantità di materiale e nell'ottimizzazione di alcune parti della procedura globale.

Questo lavoro descrive tutta la suddetta parte preliminare e, precisamente, la verifica, tramite microscopia elettronica a scansione e analisi con microsonda (SEM-EDX), spettroscopia di assorbimento atomico (ETA-AAS) e di emissione con plasma indotto per radiofrequenza (ICP-AES), dell'efficacia delle estrazioni, effettuata su uno standard di riferimento certificate per alcuni degli elementi presi in considerazione. E' stato inoltre ottenuto un miglioramento del procedimento di allontanamento del particolato dal filtro e di quello relative alla pesata del particolato rispetto ai metodi usati in precedenza, ottenendo una maggiore accuratezza.

I risultati ottenuti indicano che lo schema delle estrazioni sequenziali seguito va modificato ed ottimizzato per ottenere una maggiore efficacia, anche se la riproducibilità dei dati e soddisfacente, considerate che lavorando su particolato e non su sedimento si ha a disposizione una quantità di campione molto minore, e che, inoltre, i livelli di concentrazione di alcuni elementi studiati sono molto bassi.

1. INTRODUCTION

Marine suspended participate matter and sediments are of considerable importance for biogeochemical cycles (Wangersky, 1977) and for this reason the knowledge of metal speciation in these solid phases is a remarkable result to achieve.

The particulate plays an important role in the distribution of trace metals between dissolved and solid phases. The interactions are complicated because the various sedimentary surfaces and the inorganic and organic ligands in solution all compete for complexation of the metals.

Of the various processes, products and substrates of metal enrichment in marine solids, three major types can be distinguished:

- a rise in pH and oxygen content promotes the formation of metal hydroxides, carbonates and other metal precipitates. Hydrous Fe and Mn oxides constitute significant "sinks" for heavy metals through the effects of sorption/coprecipitation;
- in waters rich in organic matter, minerals may be solubilized by the combinated process of complexation and reduction; reincorporation of metals into the sediment involves the mechanisms of adsorption, flocculation, polymerization and precipitation;
- metals are transported and deposited as major, minor or trace constituents in the detrital minerals derived from rocks and soils, in organic residues and in solid waste material.

One of the most utilized tools to determine metals distribution is sequential chemical extraction followed by analysis of extracts, and actually one can find in literature several methods for the extraction of metals from major chemical phases in sediments (Salomons & Forstner, 1984).

In order to verify the accuracy of a chemical sequential extraction procedure, usually applied in our laboratory to marine sediments (Mazzucotelli et al., 1989), we used an approach which concerned a comparison among the spectrochemical results (ETA-AAS and ICP-AES) and the scanning electron microscopy with energy-dispersive electron probe X-ray (SEM-EDX) measurements.

2. EXPERIMENTAL

SEM-EDX analyses have been carried out on the samples before and after every attack, in order to determine the presence of some major and trace elements and to verify the efficiency of the selective extractions.

The experiments were carried out on plankton reference standard samples. In order to effect the SEM experiments the samples were suspended in Milli-Q water (5 mg/1) and shaken for 24 h. Successively, 2.5 ml of suspension were filtered through 0.45 µm Millipore filters (1 cm diameter). The filters once dried were gold-metalized with about a 15 µm thick layer of gold.

The sequential-selective extraction procedure was conducted operating on 100 mg of the plankton reference standard sample according to the flow chart of Fig. 1.

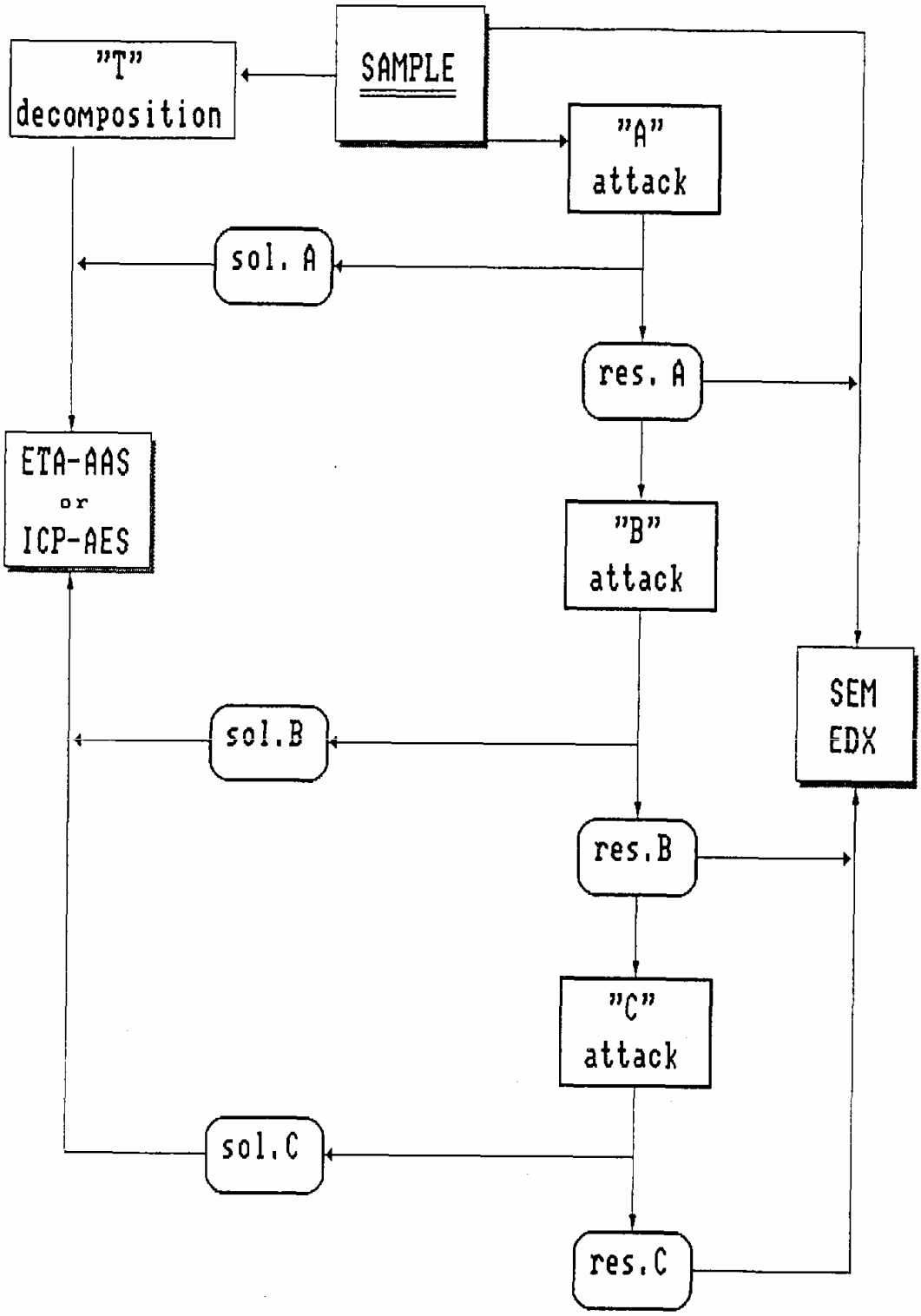


Fig. 1 - Flow chart illustrating the sequential extraction and the SEM-EDX analysis procedure. Total (T) decomposition: aqua regia at 120° C for 20 h; attack A: 1M ammonium acetate (pH 5) at toom temperature for 20 h; attack B: 1M hydroxylamine chloride + 25% acetic acid at room temperature for 20 h; attack C: 8M nitric acid at 120° C for 20 h; sol. A-B-C: solution A or B or C; res. A-B-C: residue A or B or C.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Total and selective chemical attacks

The analytical characteristics of the procedure and the results are shown in Table 1 where we also reported the results obtained for every element for the sequential attacks A, B and C and for the total decomposition T.

Tab. 1 - Analytical characteristics of the procedure for every element: certified and found concentration values (μg g^{-1}) relative to total decomposition (T); concentration values (μg g^{-1}) relative to attack A, B and C and to their sum; detection limits (ng kg^{-1}) calculated on the base of standard deviation of the blank values (3s) and relative blank values (ng kg^{-1}).

	Cu	Cr	Fe	Al
CERT. (T)	29.5 +/- 1.3	23.8 +/- 1.2	--	--
FOUND (T)	30.2 +/- 1.7	25.7 +/- 1.0	1930 +/- 150	1990 +/- 170
A	27.3 +/- 1.0	2.63 +/- 0.13	160 +/- 15	50.4 +/- 10.3
B	2.48 +/- 0.10	1.31 +/- 0.11	202 +/- 22	80.2 +/- 15.3
C	7.15 +/- 0.25	26.0 +/- 1.5	1560 +/- 140	1640 +/- 160
A+B+C	36.9	29.9	1920	1770
d.L. A	27.9	7.80	30.3	75
d.L. B	24.6	9.30	30.0	111
d.L. C	24.0	8.40	15.9	36
BLANK A	32.2 +/- 9.3	3.00 +/- 2.60	97.3 +/- 10.1	197 +/- 25
BLANK B	83.5 +/- 8.2	5.10 +/- 3.10	313 +/- 10	117 +/- 37
BLANK C	67.6 +/- 8.0	6.00 +/- 2.80	96.0 +/- 5.3	263 +/- 12

The results relative to the total chemical attack are satisfying for Cr and Cu if compared with the certified values. For Al and Fe there are no certified values.

With regard to Cu the higher quantity (74%) is released during attack A which, as reported in the literature, should dissolve the carbonate and the exchangeable fraction (Batley, 1989), the metal complexes sufficiently weak to be desorbed at pH 5 (Buffle, 1988) and, moreover, organic material adsorbed on inorganic particles. An amount of 20% of the Cu is released during attack C in which the organic fraction and consequently the Cu that was strongly associated to it was dissolved. Relatively low instead is the percentage of Cu released during the B attack.

With regard to Cr, Fe and Al the higher percent released (87,81 and 93% respectively) occurs during the attack C in which the aluminosilicate fraction is partially dissolved.

3.2. SEM-EDX analysis

The samples submitted to sequential selective extractions were analyzed with SEM-EDX, following the scheme of Figure 1, after that a portion of the residue of every chemical attack had been resuspended in Milli-Q water (about 5 mg l^{-1}).

The particles of the various samples were analyzed morphologically and with the electron probe and were classified in 10 groups:

- O) organic, containing particles that do not present any particular morphological characteristics with a typical shaped signal, low and irregular. An example of an energy-dispersive spectrum (EDS) of this kind of particles is reported in Fig. 2;

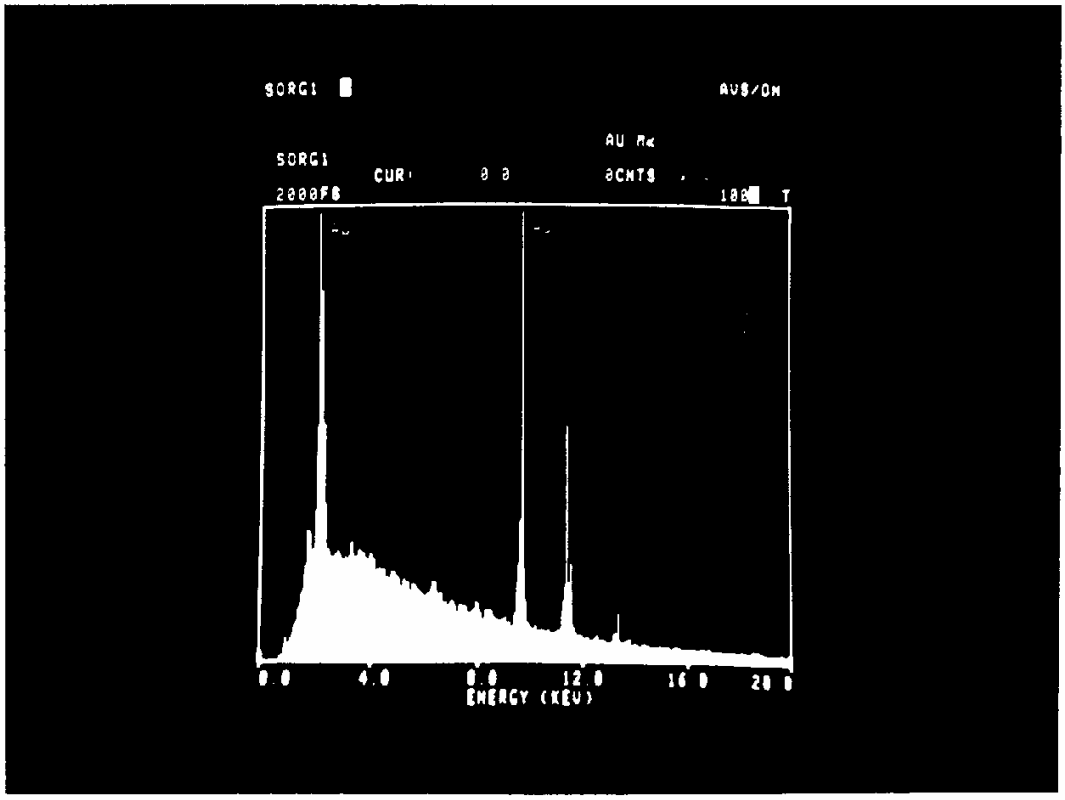


Fig. 2 - EDS of an organic particle.

- B) biological, containing particles of definite morphology, animal and vegetal, with a typical shaped signal, low and irregular. These particles sometimes do not give evidence of the presence of any element but in some cases they show a net Si peak. An EDS of a Si-rich biological particle is reported in Fig. 3;

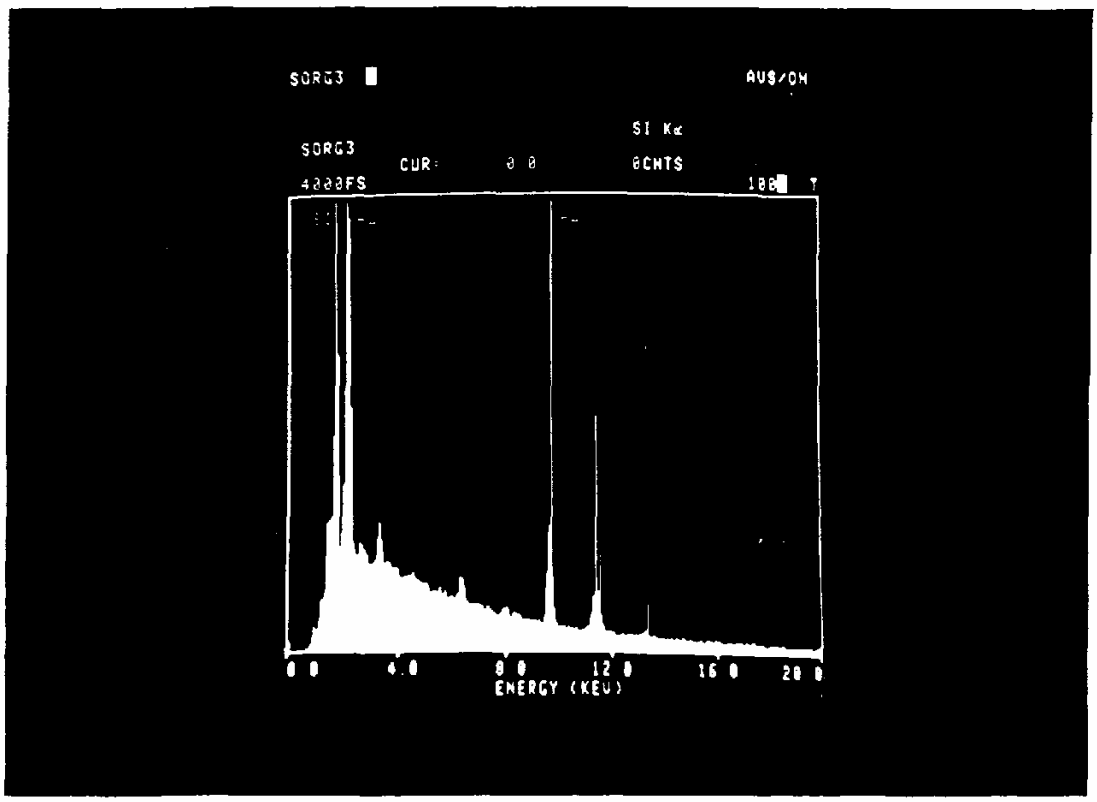


Fig. 3 - EDS of a Si-rich biological particle.

- C) carbonate, containing particles that present a net peak corresponding to Ca. These particles are ascribed to $CaCO_3$;
- Ti) titanium rich particles;
- Q) particles with a dominant Si peak ascribed to inorganic SiO_2;
- Si + Al) aluminosilicates;
- + Ca) aluminosilicates rich in Ca;
- + Fe) aluminosilicates rich in Fe;
- + Cu) aluminolisicates rich in Cu;

- NC) non classifiable, containing particles which do not belong to any of the groups cited or which exhibit simultaneous characteristics of two or more groups (probably aggregates).

The histogram of Fig. 4 shows the results obtained from SEM-EDX analysis for the non-treated sample (TQ). The presence of several O and B particles was foreseeable and confirms the representativity of the samples investigated.

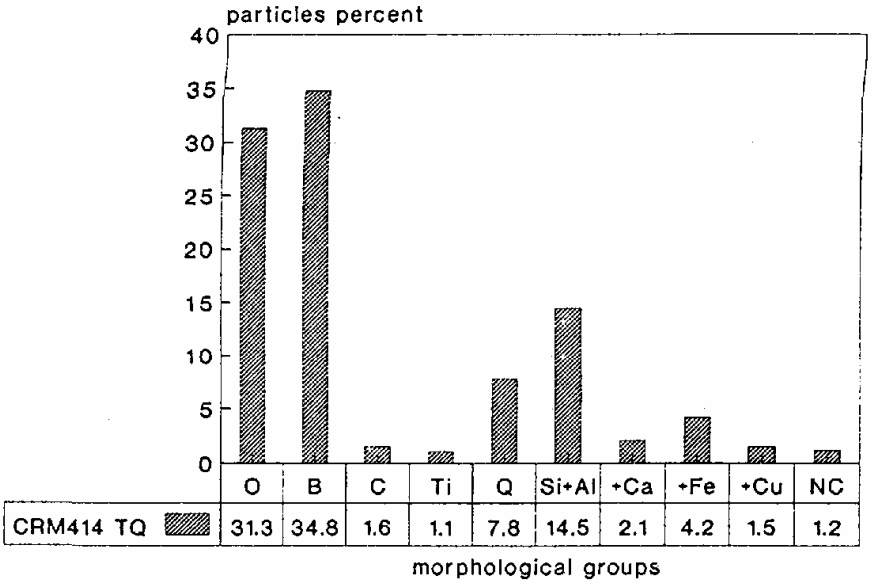
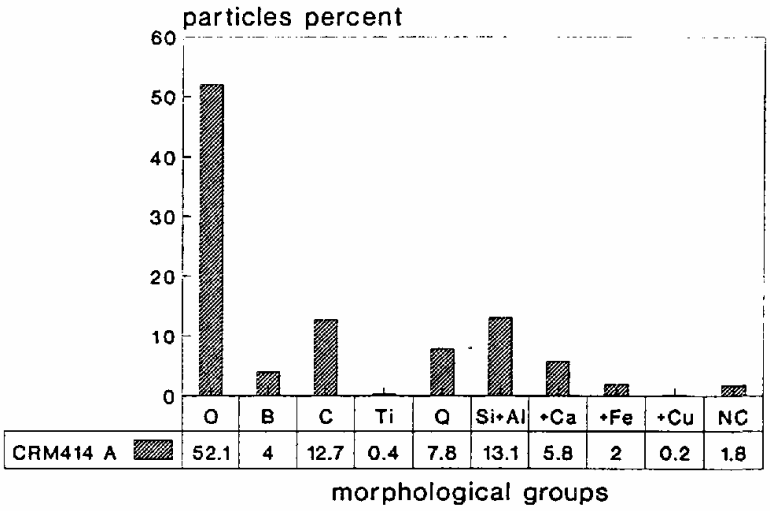


Fig. 4 - Histogram illustrating the results of SEM-EDX analysis of the non-treated plankton sample (about 750 particles)

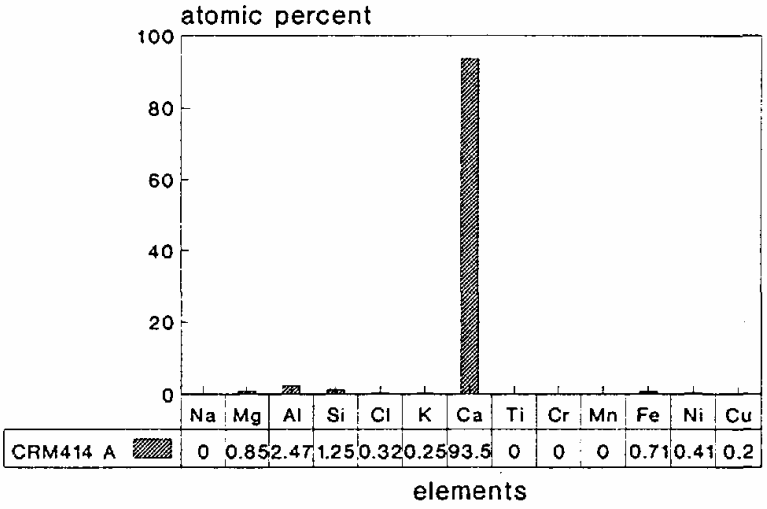
The histogram of Fig.5-1 shows the results obtained from SEM-EDX analysis of the residue after the attack according to procedure A. As reported in the literature (Tessier et al., 1979), the use of the acetate buffer - pH 5 is the preferred attack for marine sediment carbonates and can also dissolve the exchangeable and the weakly bonded organic matter fractions. From our SEM-EDX analysis it results that even after attack A some carbonate particles are still present. In Fig.5-II the results of the EDX analysis of a typical particle containing only Ca (carbonate phase) are reported.

From these results it is clear that the attack A is not complete for the solubilization of carbonate phases.

The histogram of Fig. 6-1 shows the results obtained from SEM-EDX analysis of the residue after the attack according to procedure B. This step of the sequential extraction should dissolve the Fe-Mn hydroxides but from our results it seems not to be efficient because these particles are still found in the residue. In Fig.6-II the results of the EDX analysis of a Fe hydroxide particle after the attack are reported.



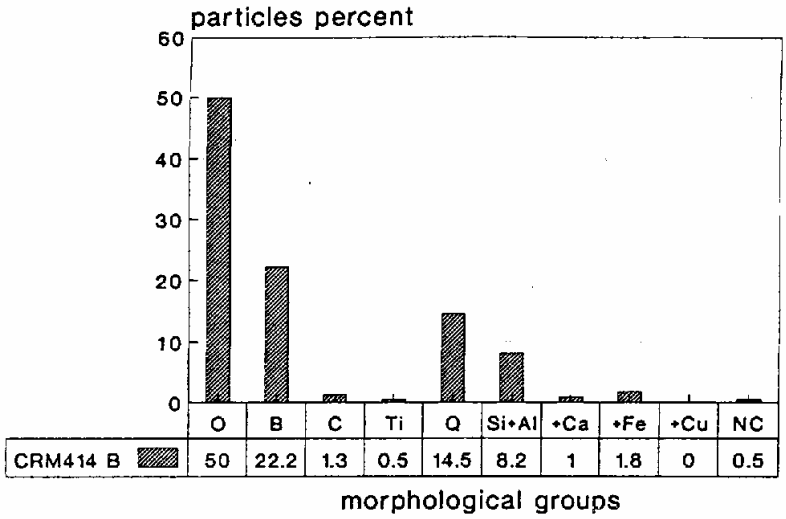
(I)



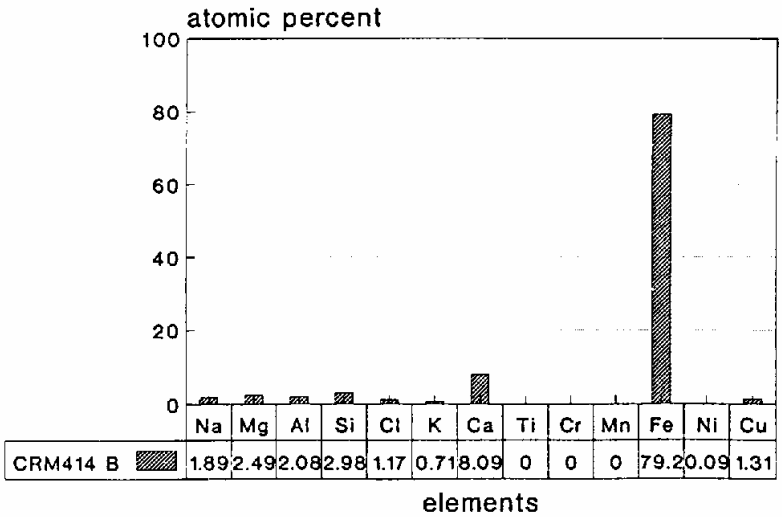
(II)

Fig. 5 - Results of SEM-EDX analysis of the residue after attack A: (I) morphological groups present in about 450 particles; (II) composition of a carbonate particle present in the residue.

The histogram of Fig. 7-I shows the results obtained from SEM-EDX analysis of the residue after the attack according to procedure C. One can notice that particles of the organic and biological groups are still present and this means that attack by 8N HNO_3 is not completely efficient. The presence of a refractory organic residue is evident. Moreover even carbonate particles are still present and in Fig. 7-II the results of the EDX analysis of one of these particles are shown.

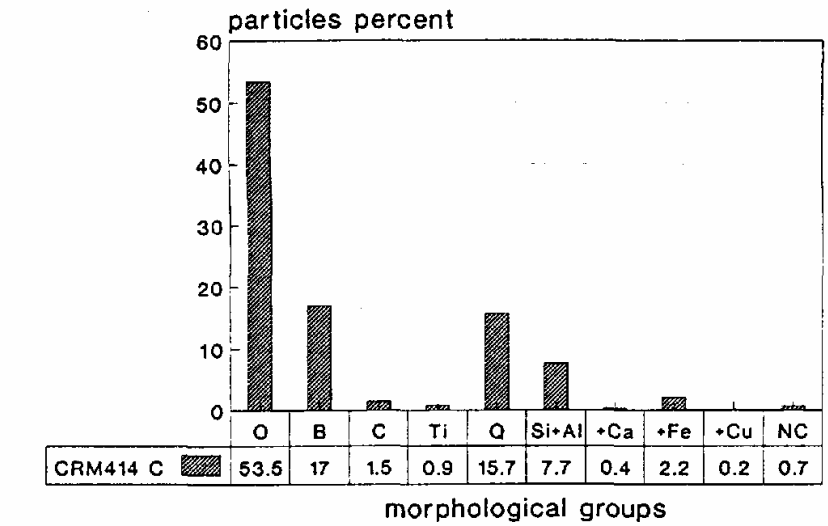


(I)

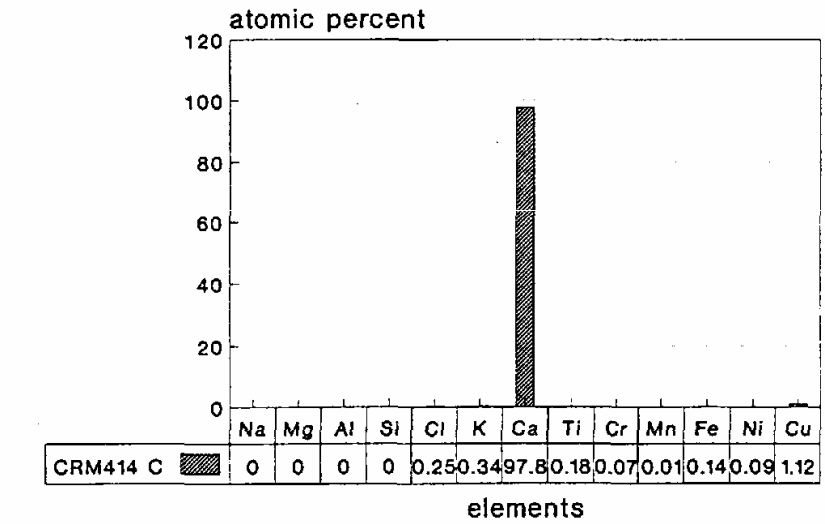


(II)

Fig. 6 - Results of SEM-EDX analysis of the residue after attack B: (I) morphological groups present in about 400 particles; (II) composition of an iron hydroxide particle present in the residue.



(I)



(II)

Fig. 7 - Results of SEM-EDX analysis of the residue after attack C: (I) morphological groups present in about 450 particles; (II) composition of a carbonate particle present in the residue.

3.3. Optimization of the separation of the particulate from the filter and of the participate weighing

Two different procedures for separating particulate matter from the filter have been compared in order to check their efficiency. The first procedure was the one previously utilized in our laboratory by means of an ultrasonic bath (Baffi et al, 1991). The container with the filter and the particulate is kept in the bath for one hour. The second procedure was pointed out in this work and it makes use of a sonifier, which scans the whole filter surface at a fixed distance (4 mm) for about 3 min at the lowest intensity. The two procedures were applied to different portions of the same filter, which

have been subsequently analyzed by scanning electron microscopy. We have verified a better removal of particulate matter from the filter when using the second procedure.

We also optimized the weighing procedure by comparing two different methods. Even in this case one method was used previously in our laboratory and the other one was pointed out during this study. In the first one the container with the filter and the particulate is weighed before the separation step and the container with the filter is weighed afterwards. The particulate weight is calculated by difference. In the second method the container only is weighed before the separation, the filter with the particulate is introducted in the container and the treatment with the sonifier is performed. The filter is then discarded, the container with the particulate is weighed and the particulate weight is calculated by difference. The results obtained from a one way analysis of variance (ANOVA) applied to the weight values indicate that the second procedure, which excludes the filter weighing, guarantees a higher reproducibility (95% confidence limit).

4. CONCLUSIONS

The application of a sequential selective extraction scheme, previously utilized for sediments, to a plankton reference standard and consequently the adaptment of the procedure to smaller quantities of material gave as a result a satisfying reproducibility in relation to the low concentration levels determined.

On the other hand, the study carried out by SEM-EDX analysis on the chemical sequential extraction shows in several case a limitation on the efficiency of the procedure.

We are now engaged in a development of this work in order to optimize the chemical sequential attacks using SEM-EDX analysis as a control and to be able to apply the selective extractions directly to real samples of marine suspended particulate matter for a more accurate application to solid speciation studies.

REFERENCES

Baffi, F., A.M. Cardinale, F. Soggia & R. Frache. 1991. Heavy metal distribution in suspended matter in coastal and offshore waters in Ross Sea (Antarctica). *Annali di Chimica,* 91: 523-531.

Batley, G.E. 1989. Trace Elements Speciation: Analytical Methods and Problems. CRC Press, Boca Raton FL.

Buffle, J. 1988. Complexation Reactions in Aquatic Systems: an Analytical Approach. Ellis Horwood Ed. Chichester.

Mazzucotelli, A., B. Cosma & F. Soggia. 1989. Trace metals distribution in antarctic sediments (Terranova Bay-Ross Sea) by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. *Annali di Chimica.* 79: 617-628.

Salomons, W. & U. Forstner. 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag. Berlin.

Tessier, A., P.G.C. Campbell & M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51: 844-851.

Wangersky P.J. 1977. The role of particulate matter in the productivity of surface waters. *Helgolander wiss. Meeresunters.* 30: 546-564.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Geneva: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 563 - 569

FORME DI RESISTENZA NEI SEDIMENTI DELLO STAGNO COSTIERO "LE CESINE" (LECCE)

Genuario BELMONTE, Ferdinando BOERO e Elena CAVALERA

Dipartimento di Biologia, Stazione di Biologia Marina, Università di Lecce, 73100 Lecce, Italia

RIASSUNTO

Almeno 132 tipi morfologici di cisti sono stati riconosciuti sul fondo dello stagno "le Cesine" (costa adriatica, 15 km a Est di Lecce), con densità che raggiungono i 6 milioni per m^2 nei primi 11 cm di sedimento. La distribuzione nella colonna verticale di sedimento e diversa sia qualitativamente che quantitativamente ai diversi livelli. Da alcune cisti si sono ottenute, in laboratorio, le forme attive.

ABSTRACT

The study of the "cyst bank" of the coastal lake "Le Cesine" (Adriatic coast of Apulia, about 15 km E from Lecce) allowed the identification of 132 morphological types of resting stages of phyto- and zooplankters, with densities reaching 6 million cysts per square metre in the first 11 cm of sediment. The vertical distribution of cysts in the sediment is varied, allowing identification of different types of planktonic communities characterizing the "history" of the lake. Functional individuals were obtained in the laboratory from cysts kept under controlled conditions.

1. INTRODUZIONE

Gli organismi di ambienti acquatici stagionalmente variabili sono in grado di superare i periodi avversi grazie a stadi di resistenza (cisti). Questo fenomeno è da tempo conosciuto per gli ambienti di acqua dolce ma e stato di recente dimostrato come "normale" anche per molte specie di aree marine costiere (vedi Boero, 1994). Le forme di resistenza si comportano come particelle di sedimento e si accumulano secondo le leggi fisiche che governano la sedimentazione negli ambienti acquatici (Marcus & Fuller, 1986).

L'accumulo progressive di tali stadi di resistenza sul fondo, e la schiusa differenziale cui spesso sono soggetti, porta alla formazione di "banche di cisti" nei sedimenti, la cui ecologia potrebbe essere simile a quella delle "seed banks" riscontrate negli ambienti terrestri (Leek et al., 1990).

Le biocenosi di ambienti acquatici effimeri possono non presentare la stessa composizione in anni successivi, per cui stadi inattivi di specie caratterizzanti i diversi momenti della storia di un corpo d'acqua si sommano nei sedimento. Gli stagni costieri sono particolarmente idonei alla individuazione di biocenosi caratterizzanti diverse condizioni ambientali, dal momento che potrebbero aver accolto comunità adattate a diversi gradi di salinità, da acque dolci ad acque marine.

Uno studio pilota su tale problematica e stato affrontato nello stagno costiero delle Cesine, un bacino retrodunare di circa 40 ha che accoglie acque di affioramento freatico, a circa 15 km ad Est di Lecce, sulla costa adriatica della Penisola Salentina (Fig. 1). Il livello delle acque, e dunque 1'intera estensione dell'invaso, oscilla di molto a seconda delle stagioni, ma non va mai oltre i 160 cm di profondità. Durante Testate del 1990 1'intero stagno si ridusse ad una pozza di limitata estensione, in cui 1'acqua superava il 90 %o di salinità. Nell'estate 1994 la salinità era dell'l ‰.

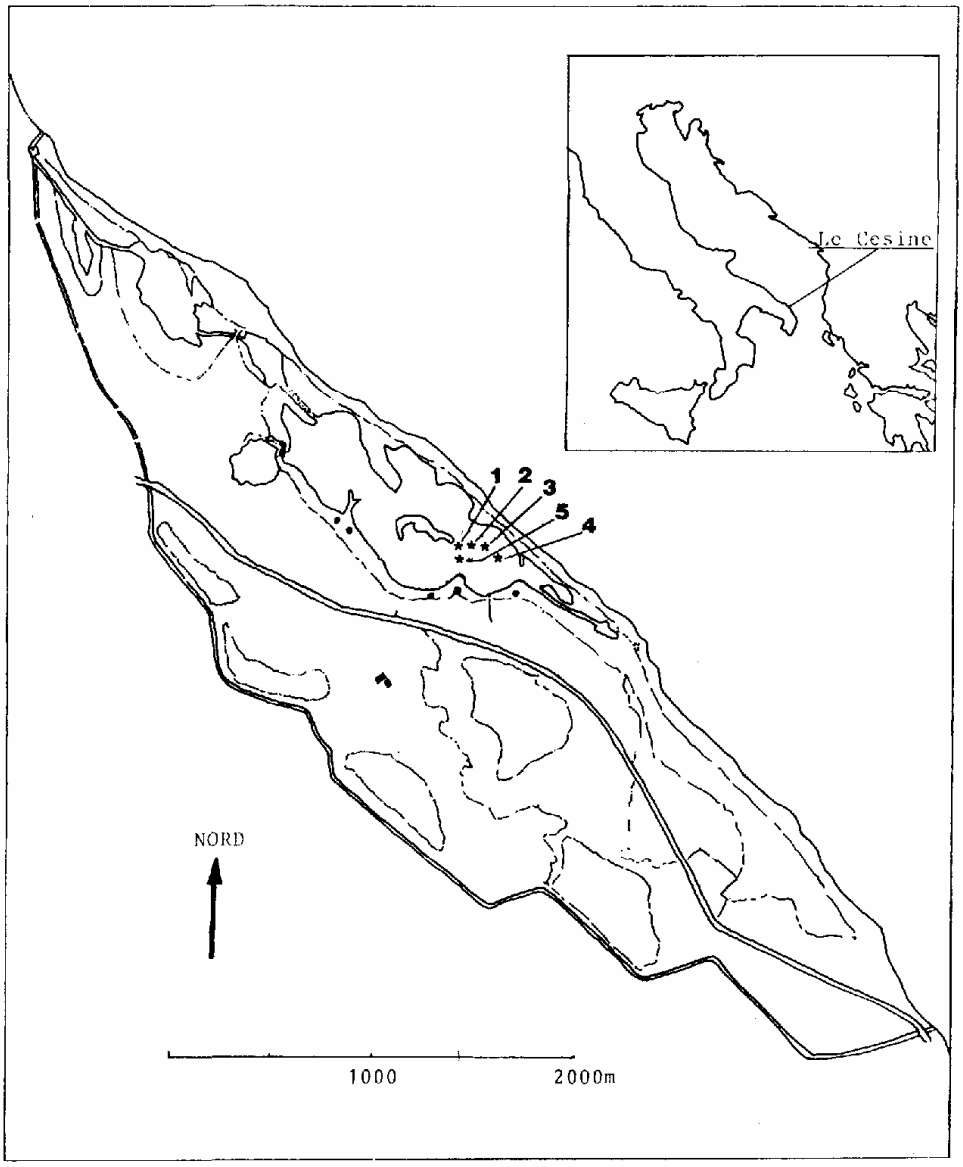


Fig. 1 - Carta dello stagno costiero delle Cesine, con indicazione delle 5 stazioni di campionamento.

Il regime salino che ha caratterizzato le acque nel passato e sconosciuto. Una recente indagine (dati non pubblicati) sull'andamento annuale dello zooplancton ha riportato 22 entita tassonomiche: 1 calanoide *(Calanipeda aquaedulcis),* 2 ciclopoidi (gen. *Halicyclops* e *Oithona),* 1 arpacticoide (gen. *Tisbe), 2* cladoceri (gen. *Daphnia* e *Eurycercus),* 6 rotiferi (gen. *Brachionus, Hexarthra, Asplanchna,* e *Trichocerca),* e vari altri invertebrati. Solo poche specie erano presenti contemporaneamente (al massimo 12) dal momento che alcune succedono ad altre nel corso dell'anno.

2. MATERIALI E METODI

Nella porzione centrale dello stagno sono state prelevate 5 carote di sedimento di lunghezza variabile tra 11 e 21 cm, a seconda della compattezza dei sedimenti. I prelievi sono stati effettuati in immersione mediante 1'inserimento nel sedimento di carotatori in plexiglass. L'osservazione diretta consentiva di accertare che gli strati di sedimento non si mescolassero nel corso del prelievo.

Una volta in laboratorio si e proceduto alla estrusione delle carote, suddividendole in frazioni di 1 cm di lunghezza. I campioni sono stati mantenuti in frigorifero (4° C) fino al momento dell'analisi. L'estrazione delle cisti e stata effettuata con il metodo descritto da Quarta et al. (1992), la maglia utilizzata (di 45 µm) e adatta alla estrazione soprattutto di cisti di metazoi.

Le cisti giudicate vitali sono state classificate in base a dimensioni, colore, e tipo di strutture corioniche. Alcune cisti, mantenute in acqua originaria filtrata a 0,45 µm, sono state incubate in camera termostatata per ottenerne la schiusa.

3. RISULTATI

Ciascuna carota conteneva circa 1500 cisti fino all'undicesimo cm (minimo 892, massimo 2773), corrispondenti ad una densità media di 3.389.380 cisti/m^2 (minimo 1.973.451, massimo 6.134.956) su un fondale di 11 cm di spessore.

Sono stati identificati 132 tipi morfologici di cisti, di cui solo 5 (a, b, c, d, e, in Fig. 2) erano abbondanti nelle cinque le carote, soprattutto da 8 ad 11 cm di profondità. I tipi h, j e m erano, invece, abbondanti nei primi centimetri di alcune carote.

La densità media delle cisti alle diverse profondità (Fig. 3) mostrava un paio di massimi, al 1° e all'8° cm, con i valori minimi intorno al 5° cm. Nei cm più profondi la densità delle cisti non diminuiva e la carota più lunga tra quelle prelevate conteneva cisti per tutti i suoi 21 cm di lunghezza (Fig. 3).

Uova spinose simili a quelle dei calanoidi del genere *Acartia* (tipo u), tipici di acque salmastre o marine confinate (e attualmente assenti dal plancton dello stagno), sono state rinvenute al 9° cm di alcune carote. Nei primi 3 cm di sedimento sono state rinvenute uova di un rotifero del genere *Hexarthra* (Monogononta; tipo y, attualmente presente nello stagno), tipico di acque oligoaline. Cellule algali proliferanti di *Pterosperma* (Chlorophyta; cisti tipo z nella Fig. 2) si sono liberate durante 1'osservazione dei campioni al microscopic. La forma attiva del rotifero *Hexarthra* sp. e stata ottenuta da uova di resistenza all'interno delle quali era stato osservato il movimento dell'embrione. La schiusa si e verificata a più di 100 giorni dal prelievo del sedimento.

4. DISCUSSIONE

L'abbondanza delle cisti nei sedimenti dello stagno delle Cesine e simile a quelle di alcune aree costiere chiuse (Mar Piccolo di Taranto, porto di Brindisi) che paiono giocare un ruolo di serbatoio per 1'ambiente neritico (Belmonte et al., 1993).

Lo studio dello zooplancton dello stagno sta evidenziando una bassa diversità della biocenosi planctonica (22 specie animali). Ciò consente di ipotizzare che l'alta diversità

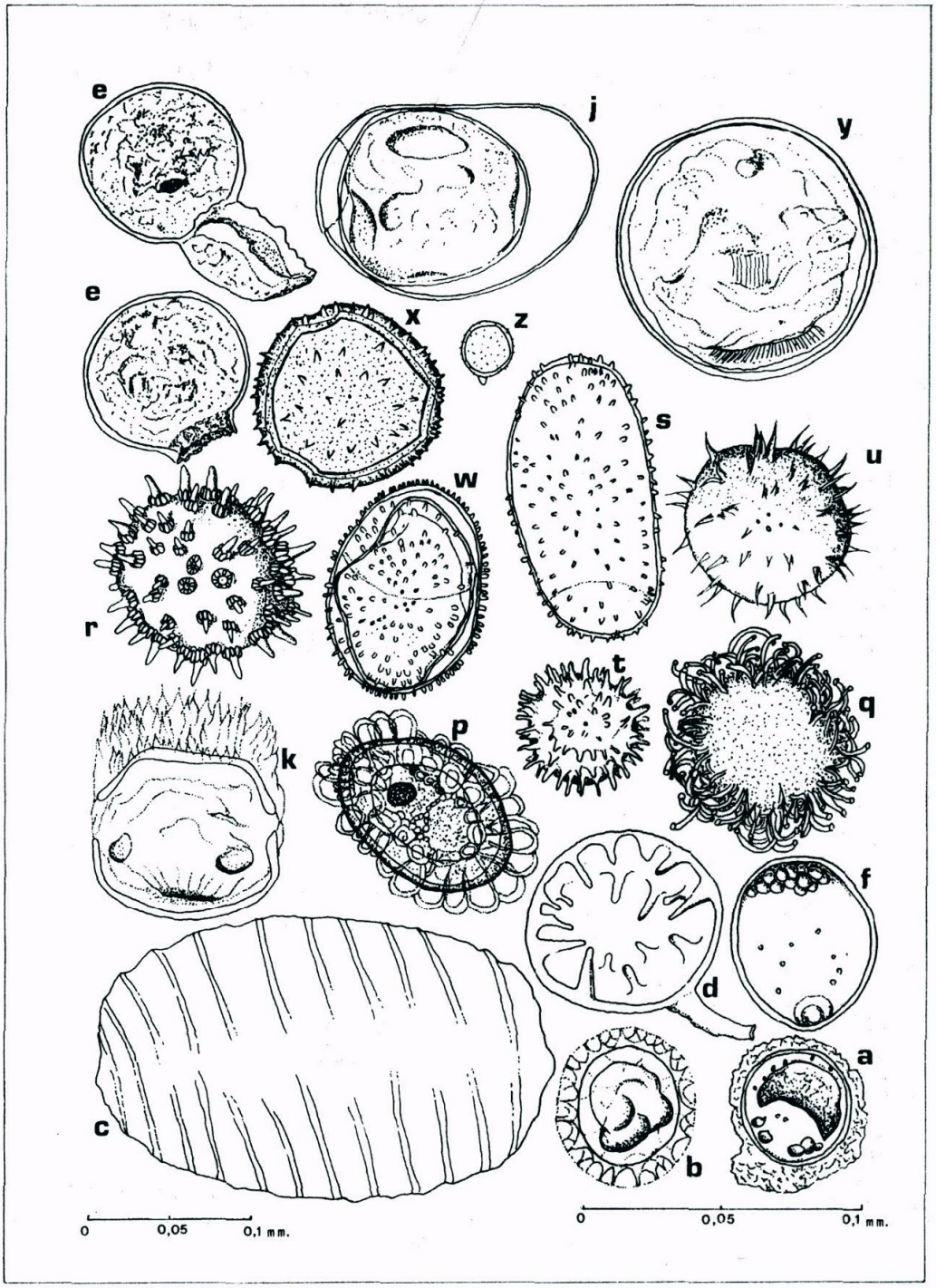


Fig. 2 - Tipi principali di cisti rinvenute nel sedimento dello stagno costiero Le Cesine (LE). La scala in basso a sinistra si riferisce solo al tipo **c**.

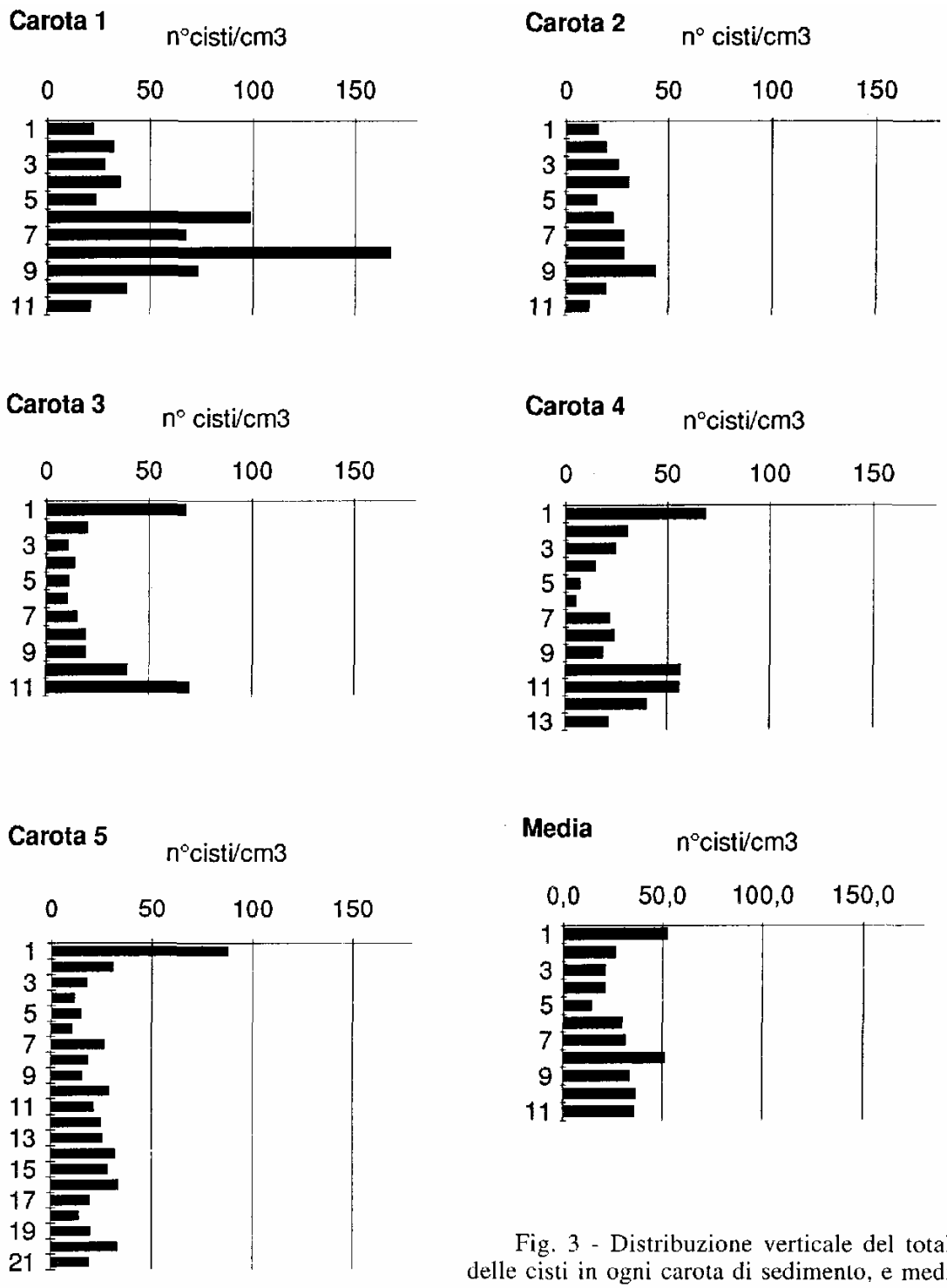


Fig. 3 - Distribuzione verticale del totale delle cisti in ogni carota di sedimento, e media complessiva.

della banca di cisti (132 tipi morfologici, principalmente animali, vista la dimensione della maglia adoperata per la filtrazione) rappresenta la "somma" di successive biocenosi planctoniche, ciascuna a bassa diversità.

Le banche di cisti come quella in corso di studio alle Cesine contengono gran parte dell'informazione sulla storia biologica di un corpo d'acqua, ed inoltre esercitano un effetto stabilizzante sull'evoluzione delle specie, favorendo il flusso genico tra popolazioni vissute in tempi diversi (Hairston & DeStasio, 1988).

Numerosi tipi di cisti sono presenti solo a determinate profondità del sedimento, a testimonianza delle variazioni ambientali (e nella composizione qualitativa della biocenosi) che devono essersi succedute. Alcuni dati rilevati ci consentono di affermare che lo stagno ha subito, negli ultimi tempi, una progressiva dolcificazione. Infatti sono state rinvenute uova diapausali di calanoidi (tipici di ambienti salmastri polialini) nel sedimento a 9 cm di profondità; più in superficie, intorno a 3 cm, sono state rinvenute uova diapausali di rotiferi tipici di acque oligoaline, appartenenti a forme presenti anche nello zooplancton attuale. Non e stato possibile stabilire la corrispondenza tra profondità di sedimento ed età delle cisti, ma alcuni studi (Ravera & Zarini, 1987; Marcus et al., 1994) suggeriscono che le cisti a 21 cm di profondità potrebbero avere decine di anni.

Informazioni sulla capacità di resistenza di alcune cisti sono derivate dall'ottenimento di individui funzionali di *Pterosperma* da cisti estratte dall'ottavo cm di sedimento. La schiusa delle uova di resistenza di rotiferi del genere *Hexarthra* (estratte dai primi 3 cm) è, inoltre, avvenuta a 100 giorni dal prelievo. Questo significa che lo stagno potrebbe avere la possibilità di "esprimere" biocenosi planctoniche differenti a seconda delle condizioni che, man mano, vi si instaurano. Mentre la biodiversità realizzata (plancton attivo) è bassa, la biodiversità potenziale (plancton incistato) e molto alta.

Questi dati preliminari mostrano come la comprensione della dinamica del plancton non può prescindere dallo studio delle forme di resistenza presenti nei sedimenti. Tali fenomeni sono probabilmente di valenza generale anche nelle acque costiere e dovrebbero essere presi in considerazione per identificare le cause delle variazioni e delle fluttuazioni delle biocenosi planctoniche.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro effettuato con finanziamenti MURST (programmi 60 e 40%).

BIBLIOGRAFIA

Belmonte, G., P. Castello, M. Piccinni, S. Quarta, F. Rubino, S. Geraci & F. Boero. 1993. Resting stages in marine sediments off the Italian coast. Proceedings of the 26th EMBS, Iraklio-Greece, in press.

Boero, F. 1994. Fluctuations and variations in coastal marine environments. *P.S.Z.N.J: Marine Ecology,* 15 (1): 3-25.

Hairston, N.G.Jr. & B.T. DeStasio, Jr. 1988. Rate of evolution slowed by a dormant propagule pool. *Nature,* 336 (6196): 239-242.

Leek, M.A., V.T. Parker & R.L. Simpson. 1990. Ecology of soil seed banks. Academic Press Inc., San Diego.

Marcus, N.H. & C.M. Fuller. 1986. Subitaneous and diapause eggs of *Labidocera aestiva* Wheeler (Copepoda: Calanoida): differences in fall velocity and density. *J. Exper, Mar. Biol. EcoL,* 99: 247-256.

Marcus, N.H., R. Lutz, W. Burnets & P. Cable. 1994. Age, viability, and vertical distribution of zooplankton resting eggs from an anoxic basin: Evidence of an egg bank. *Limnol.Oceanogr.:* 154-158.

Quarta, S., M.R. Piccinni, S. Geraci & F. Boero. 1992. Isolation of resting stages of planktonic organisms from fine-grained sediments. *Oebalia,* 18 (N.S.): 121-128.

Ravera, O. & S. Zarini. 1987. A century of variations in some zooplankton and zoobenthos organisms in Lake Comabbio (Northern Italy) 'read' from their remains in the lake sediment. *Schweiz.Z.HydroL,* 49/1: 93-101.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & *M.* Piccazzo (eds): 571 - 581

SHORT-TERM CHANGES IN THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF PARTICIPATE ORGANIC MATTER IN A MEDITERRANEAN LAGOON (SOUTHERN SARDINIA): THE ROLE OF WIND AND RAIN

Antonio PUSCEDDU[1] e Mauro FABIANO[2]

[1]Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova
C.so Rainusso, 14, 16038, S. Margherita Ligure (Italia)
[2] Cattedra di Biologia Marina, Università di Ancona,
Via Brecce Bianche, 60131 Ancona (Italia)

RIASSUNTO

Il detrito e la fonte fondamentale di energia per gli organismi lagunari, specialmente per i sospensivori ed i detritivori. La laguna di S. Gilla (Sardegna Meridionale, Italia) è stata fino ad oggi oggetto di numerosi studi inerenti la disponibilità di seston per le locali colture di *Mytilus galloproviticialis* (Lamarck) e *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve) (Mollusca, Lamellibranchia); in letteratura, però, mancano studi sulla composizione biochimica del materiale organico particellato. Al fine di evidenziare il ruolo del vento e delle precipitazioni atmosferiche sulla qualità e quantità del seston nella laguna in esame, sono stati raccolti, con cadenza settimanale, campioni d'acqua superficiale per la durata di 12 mesi, dal Novembre 1992 all'Ottobre 1993. Sui campioni sono state misurate le concentrazioni di materiale sospeso totale, clorofilla-a, carboidrati, proteine, lipidi e acidi nucleici totali; sono stati inoltre rilevati i valori di temperatura e salinità dell'acqua, di velocità del vento e delle precipitazioni atmosferiche. Gli andamenti climatici determinano il trend stagionale della clorofilla-a, il quale, in laguna, risulta fortemente mascherato da alcune "pulsazioni" del popolamento fitopianctonico associate a piogge più intense. L' intensità del vento determina l'instaurarsi di marcati fenomeni di risospensione. Tali eventi si riflettono sia sulla quantità che sulla qualità del seston. Sono state infatti messe in evidenza correlazioni positive tra intensità del vento e concentrazioni del materiale sospeso totale e proteine particellate. La presenza di una correlazione positiva tra intensità del vento e concentrazione degli acidi nucleici totali suggerisce inoltre che la attività microplanctonica risponde prontamente agli inputs di sostanza organica derivati dalla risospensione del pool sedimentario.

ABSTRACT

Detritus is one of the most important feeding resources for lagoon inhabitants, especially for suspension and detritus feeders. Although the S. Gilla lagoon (Southern Sardinia, Italy) has been intensively investigated in terms of seston availability for *Mytilus galloprovmcialis* (Lamarck) and *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve) (Mollusca Lamellibranchia), the most important products in local aquaculture, no data are available on its biochemical composition. Surface water samples were collected weekly over a full year cycle (October 1992 - November 1993) in a single station in the S. Gilla lagoon in order to gather information on short-term changes in the biochemical composition of particulate organic matter, induced by wind stress and rain. The concentrations of total suspended matter, chlorophyll-a, carbohydrates, proteins, lipids and total nucleic acids were determined; temperature, salinity, wind speed and rain precipitations were also measured. Chlorophyll-a seasonal trend is determined by the climate. In the lagoon, chlorophyll-a results to be highly masked by some pulses of the phytoplankton community associated to intense rainfalls. Wind intensity leads to remarkable events of sediment resuspension. Resuspension has an impact on seston quantity and quality Indeed, positive correlations between wind speed and total suspended matter and particulate protein concentration, respectively, are observed. Moreover, a positive correlation between wind intensity and total nucleic acids concentration suggests that microplankton activity readly reacts to the additional organic matter from sediment resuspension.

1. INTRODUCTION

Sediment resuspension is not just a loss of material from the benthos, but a gain of material to the water column and plankton (Wainright, 1990). Hopkinson (1985) stated that "resuspension appears to control the relative amounts of organic carbon, as well as the sites and rates of organic matter degradation in the benthos and water column". From a combination of field data collected during a storm and laboratory experiments, Fanning et al. (1982) suggested that resuspension may be an important source of nitrogen for phytoplankton. Wainwright (1987), testing heterotrophic microorganisms as consumers of resuspended sedimentary material, found that planktonic microbial growth was stimulated by resuspended sediments within a few hours. Resuspended organic matter may be a source of nutrition to filter-feeding organisms (Rhoads et al., 1975; Tenore, 1977; Rhoads et al., 1984). Moreover, seston quality may affect the population dynamics in benthic communities: Albertelli & Fabiano (1988), in the Ligurian Sea, found that biomasses of benthic suspension feeders are greatly affected by seston dynamics in the overlying water column as well as by resuspended material. More investigations on the origin and development of resuspended material are necessary to assess its role in the trophic chain (Floderus & Pihl, 1990; Kiørboe & Nielsen, 1990; De Jonge & Van Beusekom, 1992) Near-bottom water currents (Arfl & Bouvy, 1995) and "bioturbation" by small to large invertebrates and/or vertebrates are substantially the major causes of sediment resuspension Resuspension affects plankton ecology through hydrological

modifications, variations of nutrient concentration and light attenuation (Hellström, 1991; Lind & Lind, 1991). For this reason, several studies have been focused on wind and rain effects on the turbidity of shallow waters and primary production. Alpine & Cloern (1992) and Millet & Cecchi (1992) demonstrated that some environmental factors -like wind intensity and rain precipitations- may affect the development of phytoplanktonic blooms in a Mediterranean lagoon. Similar results are reported by Serra et al (1995) who found a significant relationship between diatom and picoplankton abundance and wind and rain events in the S. Gilla lagoon.

Typically, in coastal lagoons the phytoplankton blooms fail to couple with the benthic community In most cases, indeed, primary production of phytoplankton, macrophytes and saltmarsh plants exceeds consumption by herbivores. Thus, most of the energy from primary production becomes available to support consumer production only after it has been fragmented and processed through decomposer pathways (Newell, 1982). Therefore, most of the biomass of large suspension feeders is sustained by "detritus" rather than by living phytoplankton.

This study aims to highlight the effects of wind stress and rain on seston quantity and quality in the S. Gilla lagoon.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Site

The S. Gilla lagoon (Southern Sardinia, Italy), with a total extension of 1250 ha, and an average depth of 1 m, is located between the Mannu-Cixerri fluvial complex and the Gulf of Cagliari (see Fig. 1).

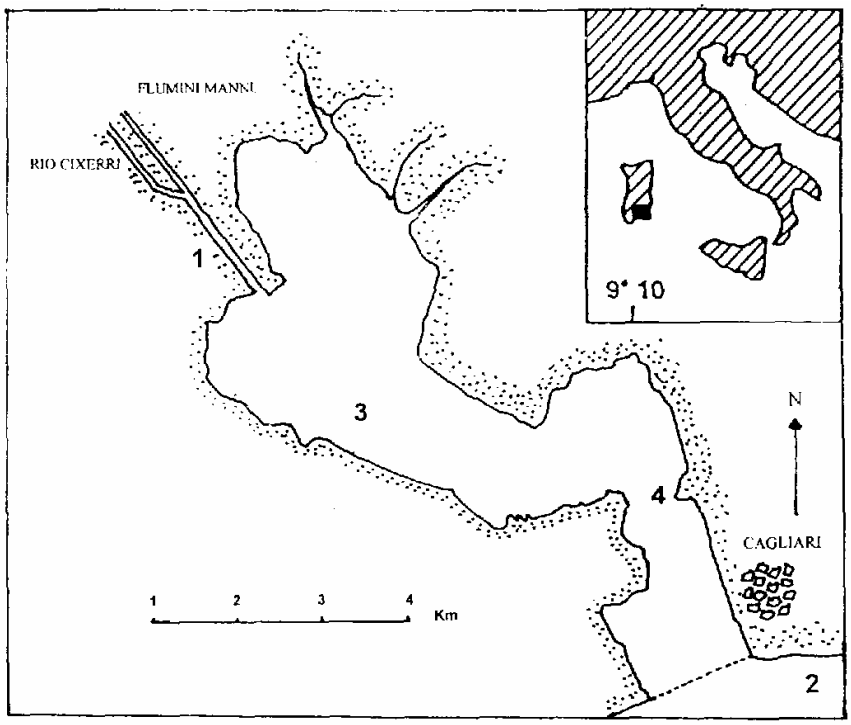


Fig. 1 - The lagoon of S. Gilla. Illustrated are: 1) the Mannu-Cixerri fluvial complex, 2) the harbour of Cagliari, 3) the sampling site and 4) the location of the fixed fishing structures.

The lagoon may be divided into two different areas (Masala Tagliasacchi et al., 1992) owing to the presence of fixed fishing structures: an upper region (1000 ha) characterized by low water exchanges with the open sea, and a pre-lagoon (200 ha) characterized by tidal flows and eutrophic water inputs from the marinas and industrial harbours in Cagliari (Serra, 1984).

The lagoon is used for aquaculture, particularly for molluscs farming like *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve), *Tapes decussatus* (L.), and *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck) (Cottiglia & Masala Tagliasacchi, 1988; Masala Tagliasacchi et al., 1992). However, a large part of phytoplankton biomass is intercepted by food competitors as *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel) (Serra, 1984).

Finally, the S. Gilla lagoon may be considered a "detritus" food chain environment where phytoplankton accounts for only a little fraction of available food for suspension feeders (Cottiglia et al., !983a and 1983b).

2.2. Sampling

Superficial water samples were collected, weekly or every 15 days, between November 1992 and October 1993 in a single station located in the upper region of the lagoon.

Samples were carried to the laboratory within 1-2 hours and filtered on Whatman GF/F (0.45 um nominal pore size) for chlorophyll-a and total suspended matter analysis and on Nuclepore filters (0.4 um pore size) for the analyses of carbohydrates, proteins, lipids and total nucleic acids:

Temperature (accuracy ± 0.2 °C) and salinity (accuracy ± 0.1%) were measured using a coupled probe WTW LF 191. Wind speed and rain data were provided by the meteorological station at Cagliari Airport.

2.3. Chemical Analyses

Total suspended matter (TSM) was measured by gravimetric method (Strickland & Parsons, 1972). Chlorophyll-a (CHLa) was extracted using aceton (90%) according to Strickland & Parsons method (1972); concentrations were measured according to UNESCO formulas.

All filters for the analysis of carbohydrates, proteins, lipids and total nucleic acids were sonicated for two hours in 1 ml of distilled water.

Concentrations of carbohydrates (CHO) were measured according to Dubois et al. (1956); glucose solutions were used as standards. Concentrations of proteins (PRT) were measured according to Hartree (1972); albumine solutions were used as standards Lipids (LIP) were extracted according to Bligh & Dyer (1959). The analyses were performed according to Marsh & Wenstein (1966); tripalmitine solutions were used as standards.

Particulate organic matter (POM) is expressed as the sum of carbohydrates (CHO), proteins (PRT) and lipids (LIP) (Fabiano et al., 1984).

Total nucleic acids (TNA) were extracted and measured according to Zachleder (1984). DNA solutions from calf thymus were used as standards.

3. RESULTS

3.1. Environmental Data

Environmental data (temperature, salinity, wind speed, rain) collected during the study are reported in table 1

The temperature ranged between 8.4 (February) and 27.4 °C (August) showing a typical seasonal trend and no significant difference from previous data (Cottiglia & Masala Tagliasacchi, 1988; Masala Tagliasacchi et al., 1992; Serra, 1984).

Salinity ranged from 0.2 (March 1993) to 38 8 (August). Wind speed, ranging between 7.0 (December) and 38 (January) knots, was higher in early winter (>35 knots) reaching peaks of over 45 knots

Rain precipitations were relatively high in December (73.0 mm) and February (52.4 mm)

Tab. 1 - Temperature (°C), salinity, wind speed (knots) and rain precipitation (mm) measured in the S. Gilla lagoon. The wind speed was obtained averaging the values since two days before sampling.

Date	T	S	Wind	Rain	Date	T	S	Wind	Rain
10/11	18.3	29.3	13.0	0.0	25/03	16.1	19.2	19.5	0.2
17/11	15.7	29.1	21.5	4.4	31/03	13.6	24.0	17.5	0.0
24/11	13.1	28.9	13.5	0.0	06/04	13.4	21.6	35.5	0.0
01/12	13.5	31.5	9.0	0.0	20/04	16.7	26.6	21.0	0.0
18/12	11.8	13.3	14.0	0.0	04/05	18.6	27.7	19.5	0.0
22/12	11.5	26.5	11.0	0.0	18/05	21.6	27.1	17.5	0.0
14/01	12.2	24.0	10.5	0.0	02/06	24.0	27.6	21.0	0.0
19/01	14.5	26.9	9.5	0.0	15/06	22.2	31.0	29.0	0.0
27/01	10.3	29.3	36.0	0.0	24/06	25.1	31.1	20.5	0.0
03/02	9.5	29.6	18.5	0.0	15/07	26.0	32.8	19.5	0.0
10/02	11.5	7.3	24.0	0.0	20/07	26.9	34.5	23.0	0.0
23/02	9.5	30.3	31.5	0.4	03/08	26.4	38.8	23.5	0.0
26/02	8.4	28.8	17.5	1.2	24/08	27.4	34.8	19.0	0.0
03/03	9.0	0.2	32.0	0.1	21/09	25.4	33.6	19.0	0.0
10/03	10.1	20.3	15.0	0.2	05/10	18.9	27.6	20.0	0.0
16/03	13.1	13.0	16.0	0.0	20/10	20.6	26.2	13.0	0.0

3.2. Biochemical Composition of POM

TSM, CHLa, CHO, PRT, LIP and TNA values are reported in table 2.

Total suspended matter (TSM) ranged from 15.6 to 524.0 mg/1 and was constantly richer in the non organic fraction (between 64 to 97 %) than in the organic one (maximum up to 36 %).

Chlorophyll-a (CHLa) ranged between 0.9 (October) and 80.1 µg/1 (February), reaching other significant peaks in December (19.2 mg/1), March (20.6 µg/1) and August (12.0 µg/1).

Concentrations of carbohydrates, proteins and lipids showed trends similar to chlorophyll-a; relative concentrations ranged between 136.9 and 5687.6 µg/1 (CHO), 68.7 and 5046 µg/1 (LIP), 33.8 and 6427 µg/1 (PRT), respectively.

Total nucleic acids (TNA) concentrations ranged between 839 (later March) and 283.0 µg/1 (February) showing no noticeable seasonal trend.

Tab. 2 - TSM (mg/l), CHLa (µg/l), CHO (µg/l), PRT (µg/l), LIP (µg/l) and TNA (µg/l) concentrations.

Date	TSM	CHLa	CHO	PRT	LIP	TNA	Date	TSM	CHLa	CHO	PRT	LIP	TNA
10/11	38	8.5	136.9	420.2	462.5	11.4	25/03	524	20.6	5687.6	394.8	5046.5	32.8
17/11	35	4.7	152.8	580.9	306.6	13.0	31/03	31	1.6	200.6	478.3	91.1	8.9
24/11	31	0.9	168.7	741.7	150.6	14.6	06/04	115	3.0	598.3	456.8	403.6	26.8
01/12	36	0.9	188.8	561.7	68.7	9.3	20/04	67	5.9	898.6	121.3	431.9	29.1
18/12	41	19.2	876.0	2089.1	835.2	27.5	04/05	46	2.4	588.8	33.8	290.1	16.7
22/12	28	17.2	539.0	1146.0	450.7	15.9	18/05	41	2.4	461.0	50.8	211.2	20.0
14/01	23	13.3	532.4	685.8	596.6	30.5	02/06	31	2.9	353.4	932.0	510.7	9.7
19/01	39	2.9	384.2	1003.9	119.3	9.6	15/06	56	6.9	981.0	2203.0	325.4	65.5
27/01	76	4.4	442.7	1031.0	178.4	23.4	24/06	56	2.1	640.3	1395.5	188.8	23.4
03/02	37	2.6	506.0	587.7	384.5	14.8	15/07	47	2.2	703.3	885.9	103.9	14.1
10/02	37	1.1	709.2	674.0	329.6	19.6	20/07	65	2.6	614.4	1748.3	323.4	29.6
23/02	114	80.1	2676.0	6426.8	1843.5	283.0	03/08	50	2.4	415.4	1370.0	161.2	16.4
26/02	42	42.8	1097.4	2073.3	643.4	60.5	24/08	47	12.0	434.8	1697.0	626.7	41.9
03/03	113	4.4	1437.2	1689.2	359.2	29.1	21/09	38	4.2	246.6	2187.4	307.3	25.5
10/03	25	1.3	239.9	556.5	273.4	9.6	05/10	34	2.0	516.8	1343.6	256.1	13.2
16/03	16	1.3	341.4	667.4	104.0	11.5	20/10	27	0.9	240.7	754.6	122.5	13.3

4. DISCUSSION

Salinity is highly affected by rain precipitations, particularly during autumn and early winter. Chlorophyll-a (CHLa) seasonal trend, similar to those reported by Serra (1984) and Serra (1984), is masked by several blooms associated to rain precipitations (Fig. 2).

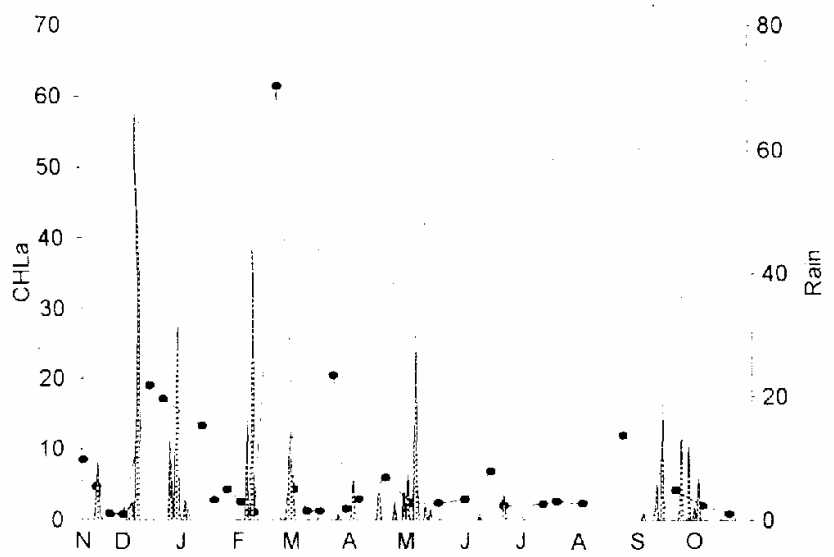


Fig. 2 - Chlorophyll-a (marked line; µg/l) and rain precipitations (filled area; mm) in the S. Gilla lagoon. CHLa concentrations plot results from the weekly aggregated data from the whole values.

The phytoplankton biomass follows the trend observed in the labile fraction of particulate organic matter, as pointed out by the significant and positive correlation ($r=0\ 67$; $p<0.01$) between POM/TSM ratio and chlorophyll-a concentrations (Fig. 3).

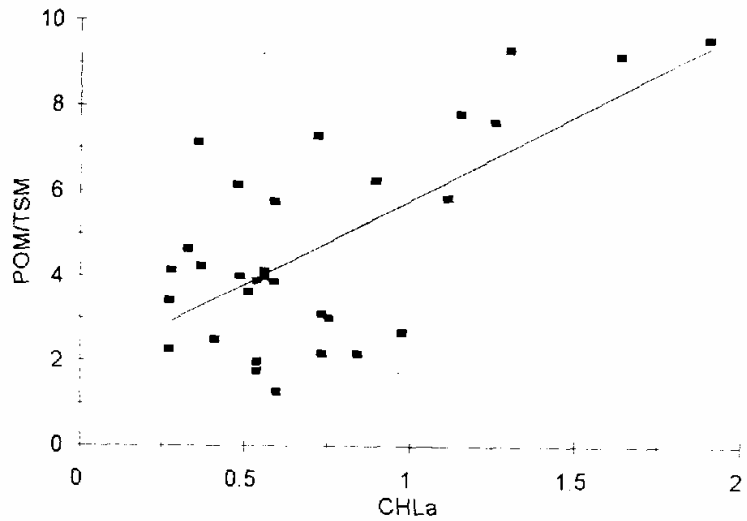


Fig. 3 - The relationship between the POM/TSM ratio (%) and the chlorophyll-a concentration. Concentrations of CHLa were log (x +1) transformed.

POM/TSM ratio, used as an index of seston availability (Navarro et al.1993), increases during phytoplankton blooms. Consequently, the seston is more "appetizing" for consumers. On the other hand, wind stress appears to affect both seston quantity and quality. With regard to quantity, a significant correlation between TSM and wind speed (Fig. 4) is observed ($r = 0.81$; $p < 0.01$).

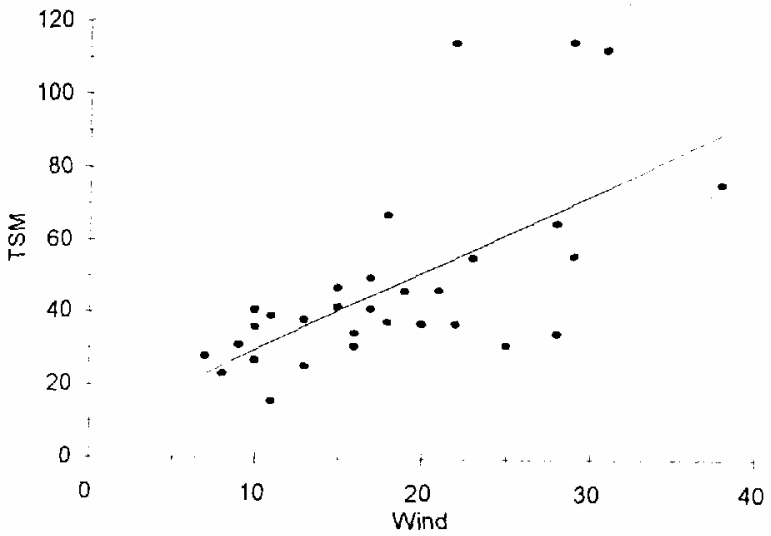


Fig. 4 - The regression plot between the TSM concentration (mg/l) and the wind speed (knots)

Although the biochemical composition of organic matter in suspended and sedimentary pools is strongly different (Fabiano et al., 1995) in case of resuspension, the resuspended material becomes similar to the sediment organic matter. Wind stress exerts

relevant effects on seston quality (Berg & Newell, 1986; Wainwright, 1987). During resuspension, a decrease in seston labile fraction, in terms of POM/TSM ratio, is observed and coupled with an increase in particulate proteins, as suggested by the positive correlation ($r=0.35$; $p<0.05$) between particulate proteins and wind speed (Fig. 5).

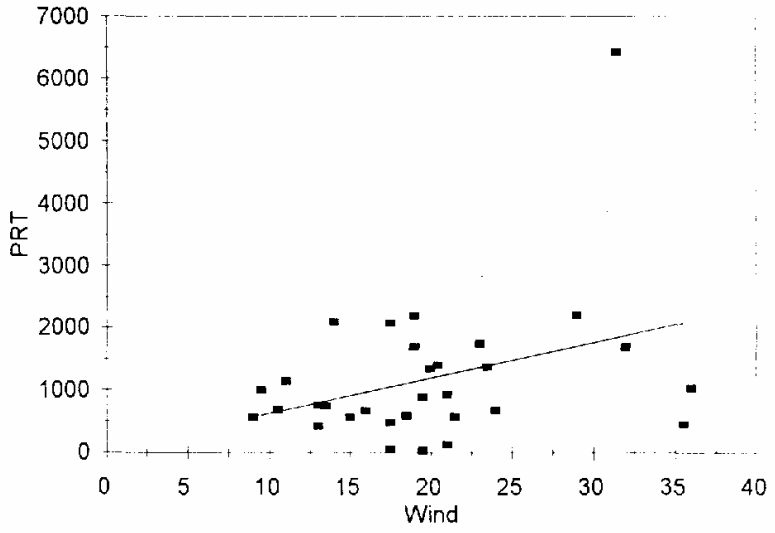


Fig. 5 - The relationship between the wind speed (knots) and the particulate proteins (µg PRT/l)

This protein enrichment, typical for microbial colonized detritus (Fabiano et al., 1995; Pusceddu et al., 1993), is due to a higher heterotrophic fraction of resuspended material. A positive correlation ($r=0.39$; $p<0.05$) between total nucleic acids and wind speed (Fig. 6) has always been observed, which is evidence of the heterotrophic origin of resuspended material.

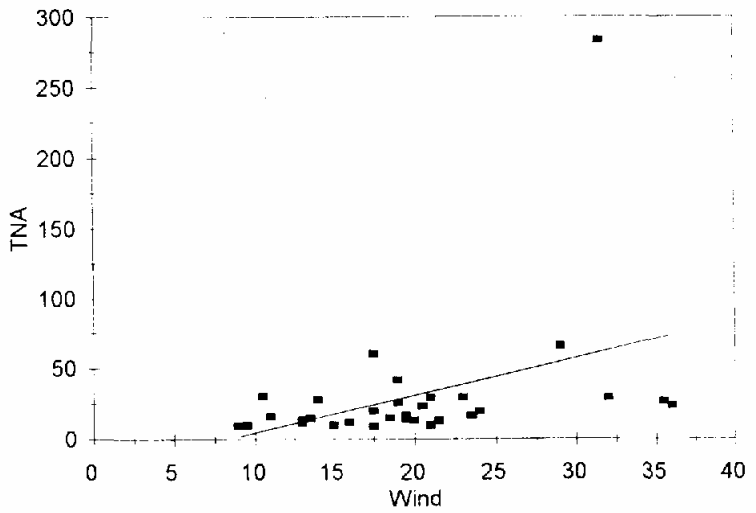


Fig. 6 - The regression plot of total nucleic acids concentraion (µg TNA/l) and the wind speed (knots)

A final remark concerning the relation between POM caloric value and wind speed (Fig. 7). POM caloric value, ranging between 5.2 and 7.1 Kcal/g, tended to decrease during wind-induced resuspension events. This result shows that, during resuspension, the quality of seston is low, owing to the increased refractory fraction.

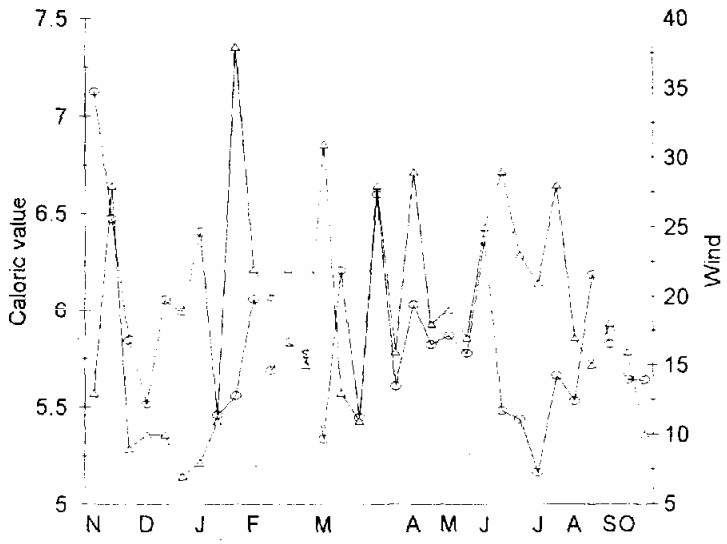


Fig. 7 - Changes in the caloric value of POM (Kcal/g) during resuspension events. O Kcal/g; Δ Wind (knots).

Data reported in this study suggest that seston quantity and quality in the S. Gilla lagoon are primarily controlled by wind stress. On the other hand, rain precipitations seem to have a major role in the "non seasonal" phytoplankton blooming and species succession as suggested by Serra et al. (1995). Finally, these observations highlight the importance of connections between sediment resuspension and the quality of suspended food for filter feeding communities. During wind-induced sediment resuspension, the food available for consumers, although increased in quantity, is of low quality.

AKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by M.U.R.S.T. 60% and 40%; Dr. Antonio Pusceddu was financially supported with a grant from C.I.S. (Credito Industriale Sardo).The authors are grateful to Prof M. Cottiglia and Prof. M.L. Masala Tagliasacchi for laboratory facilities and to Miss O. Sanna for her help during sampling.

REFERENCES

Albertelli, G. & M. Fabiano, 1988. Caratteristiche trofiche di una stazione costiera in MarLigure. Atti VII Congr. A.I.O.L.: 59-66.

Alpine, A.E. & J.E. Cloern, 1992. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in a estuary *Limnol. Oceanogr.,* 37(5): 946-

955.
Arfi, A. & M. Bouvy, 1995. Size, composition and distribution of particles related to wind-induced resuspension in a shallow tropical lagoon. *J. Plankton Res.,* 17(3): 557-574.
Berg, J.A. & R.I.E. Newell, 1986. Temporal and spatial variations in the composition of seston available to the suspension feeder *Crassostrea virginica. Est. Coast. Shelf Sci.,* 23:375-386.
Bligh, E.G. & W. Dyer, 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.,* 37: 911-917.
Cottiglia, M., & M.L. Masala Tagliasacchi, 1988. Esperienze di allevamento di *Tapes philippinarum* in Sardegna. *Quad. 1st. Idrob. Brunelli,* 8: 3-17.
Cottiglia, M., M.L. Masala Tagliasacchi & E. Serra, 1983a. Relations trophiques dans une lagune littorale tyrrhenienne. 1. Réseaux basés sur le phytoplancton, le tripton et les depouilles animates *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 28(6): 147-149.
Cottiglia, M., M.L. Masala Tagliasacchi & E. Serra, 1983b. Relations trophiques dans une lagune littorale tyrrhenienne. 2. Réseaux basés sur le phytobenthos et le détritus. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 28(6): 151-153.
De Jonge, V.N. & J.E.E. Van Beusekom, 1992. Contribution of resuspended microphytobenthos to total phytoplankton in the EMS estuary and its possible role for grazers. *Neth. J. Sea Res.* 30: 91-105.
Dubois, M., K. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers & F. Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.,* 28: 350-356.
Fabiano, M., R. Danovaro & S. Fraschetti, 1995. Temporal trends in the elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (north-western Mediterranean): a three year study. *Continental Shelf Research,* 15(11/12): 1453-1469.
Fabiano, M., A. Pusceddu & O. Sanna, 1995. Osservazioni sul detrito di origine algale: *Ulva rigida* (C. Ag.). *Biol. Mar. Medit.,* Atti XXV Congr. S.I.B.M. 1994. In press.
Fabiano, M., M. Zavatarelli & S. Palmero, 1984. Observations sur la matiere organique particulaire (proteines, glucides, lipides, chlorophylle) en Mer Ligure. *Tethys,* 11(2): 133-140.
Fanning, K.A., K.L. Carder & P.R. Betzer, 1982. Sediment resuspension by coastal waters: a potential mechanism for nutrient re-cycling on the ocean's margin. *Deep Sea Res.,* 29: 953-965.
Floderus, S. & L. Pihl, 1990. Resuspension in the Kattegat: impact of variation in wind climate and fishery. *Ext. Coast. Shelf Sci.,* 31: 487-498
Hartree, E.F. 1972. Determination of proteins: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Anal. Biochem.,* 48: 422-427.
Hellstrom, T. 1991. The effect of resuspension in the algal production in a shallow lake. *Hydrobiologia,* 213: 183-190.
Hopkinson, C.S. Jr. 1985 Shallow water benthic and pelagic metabolism: evidence of heterotrophy in the nearshore Georgia Bight. *Mar. Biol,* 87: 19-32.
Kiørboe, T. & T G. Nielsen, 1990. Effect of wind stress on vertical water column structure, phytoplankton growth and productivity of planktonic copepods. In: Trophic

Interactions in the Marine Environment. Proceedings of the 24th EMBS (Barnes M & Gibson R.N. eds.) Aberdeen: 28-40.

Lind, O.T. & L.D. Lind, 1991. Association of turbidity and organic carbon with bacteria abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake. *Limnol. Oceanogr.,* 35: 1050-1067.

Marsh, J.B. & WJ. Wenstein, 1966. A simple charring method for determination of: lipids. *J. Lipids Res., 7:* 574-576.

Masala Tagliasacchi, M.L., M, Fabiano & C. Cottiglia, 1992. Seston ed accrescimento di mitili in ambiente lagunare. *Oebalia,* Atti XXII Congr. S.I.B.M.: 187-194.

Millet, B. & P. Cecchi, 1992. Wind-induced hydrodinamic control of the phytoplankton biomass in a lagoon ecosystem. *Limnol. Oceanogr.,* 37(1): 140-146.

Navarro J.M., E. Clasing, G. Urrutia, G. Asencio, R Stead & C. Herrera, 1993. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of Southern Chile. *Estuarine coastal Shelf Sci.,* 37: 59-73

Newell, R.C. 1982. The energetics of detritus utilization in coastal lagoons and nearshore waters. *Oceanologica Acta,* Proceed. International Symposium on coastal lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bourdeaux, France, 8-14 September 1981: 347-355.

Pusceddu, A., R. Danovaro & M. Fabiano, 1993. Variations in the biochemical composition of *Tetraselmis suecica* during growth and decomposition: preliminary observations. *Biol. Mar. Suppl. Boll. SIBM,* Vol. I, Atti del XXIIF Congresso SIBM: 55-58.

Rhoads, D.C , L.F. Boyer, B.L. Welsh & G.R. Hampson, 1984. Seasonal dynamics of detritus in the benthic turbidity zone (BTZ); implications for bottom-rack molluscan mariculture. *Bull. Mar. Sci.,* 35(3): 536-549.

Rhoads, D.C., K Tenore & M. Brown, 1975. The role of resuspended bottom mud in nutrient cycles of shallow embayments. In: Estuarine research Vol. 1: Chemistry, biology and the estuarine system. Academic Press, New York: 653-679.

Serra, E. 1984. Nutrienti e biomasse fitoplanctoniche nello «stagno» di S. Gilla. *Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari,* 54: 29-39.

Serra, E., A. Pusceddu & A. Serra, 1995. Blooms fitoplanctonici ed agenti atmosferici in ambiente lagunare. *Biol. Mar. Medit,* Atti XXV Congr. S.I.B.M. 1994: 557-559

Strickland, ID H. & T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish *Res. Bd. Canada Bull.* 167 p. (2nd ed.).

Tenore, K. 1977 Food chain pathways in detrital feeding benthic communities: a review, with new observations on sediment resuspension and detrital recycling. In: Ecology of marine benthos. (B.C. Coull Ed.). University of South Carolina Press, Columbia. 37-53.

Wainwright, S.C. 1987. Stimulation of heterotrophic microplankton production by resuspended marine sediments. *Science,* 238: 1710-1712.

Wainwright, S.C. 1990. Sediment-to-water fluxes of particulate material and microbes by resuspension and their contribution to the planktonic food web. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 62: 382-281.

Zachleder, V. 1984. Optimization of nucleic acids assay in green and blue-green algae: extraction procedures and the light activated dyphnilamine reaction for DNA. *Arch. Hydrobiol.,* Suppl. 67, Algological Studies, 36: 312-328

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italians di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 583 - 592

MODELLISTICA DI CIRCOLAZIONE DELLA LAGUNA DI LESINA

Giovanni FICCA[1], Stefano PIERINI[2] e Roberto PURINI[1]

[1]Istituto di Fisica dell'Atmosfera, Consiglio Nazionale delle Ricerche
P.le L. Sturzo, 33, 00144 Roma
[2] Istituto di Meteorologia e Oceanografia, Istituto Universitario Navale
Corso Umberto I, 174, 80138 Napoli

ABSTRACT

A shallow water model is applied to the lagoon of Lesina (Southern Italy) with the aim of analysing the dynamics forced by both the winds and the tide of the adjacent Adriatic Sea, to which the lagoon is connected through two channels. The topography and the coastline (of an elongated shape) derive from bathymetric measurements of the lagoon, while the wind forcing is obtained from measurements taken by an anemometer operating near the lagoon. In particular, the response to the predominant westerly winds directed along the longitudinal axis of the basin is characterized by flows in the same wind direction along the lateral boundaries and by a recirculation in the central part of the basin.

The tidal forcing is imposed by considering tide gauge records collected in the Adriatic Sea, near Vieste. It can be noticed that the tidal phases derived from the model agree very well with theoretical considerations and that the tidal range results attenuated with respect to the sea tide. Of particular interest is the situation when wind and tide act together. The induced setup changes the tidal fluxes at the mouths of the two channels in such a way that, for the western mouth a negative setup increases the tidal inflow and decreases the tidal outflow, while for the eastern mouth the positive setup leads to a reverse situation.

1. INTRODUZIONE

Le lagune sono ecosistemi di particolare interesse scientifico. In esse infatti avvengono continui scambi e trasformazioni sia spaziali che temporali tra quella che è la fascia costiera limitrofa ed il retroterra.

Caratteristica fondamentale di tali ecosistemi e la loro elevata produttività dovuta alla grande disponibilità di alimentazione naturale che li rende particolarmente adatti all'allevamento ed all'accrescimento di specie ittiche marine di rilevante interesse commerciale (Villani et al., 1988, La Salandra et al., 1992). Tuttavia va osservato che la produzione ittica della laguna di Lesina è scarsa non solo per una gestione non particolarmente oculata delle attività di pesca, ma anche perchè non sono sufficientemente note le caratteristiche idrologiche e dinamiche del corpo idrico della laguna e dell'interazione di questo con le acque costiere prospicienti.

Un primo importante obiettivo per una corretta gestione ambientale ed economica della laguna e quindi quello di conoscere come il suo ricambio idrico sia regolato dal forzante mareale, attraverso i due canali, e da quello meteorologico, trascurando in questo primo esame 1'influenza delle acque dolci riversate dai torrenti nella laguna.

Scopo di uno studio modellistico in questo ambito (Ficca et al., 1996) e quindi di fornire dei primi risultati quantitàtivi in merito alla risposta del corpo idrico lagunare ai succitati forzanti meteomarini, facendo uso di un modello numerico che simuli l'evoluzione spazio-temporale delle velocità e delle elevazioni superficiali dello stesso una volta note marea, vento, batimetria e profilo costiero. Va osservato che mentre per la parte idrodinamica non si hanno praticamente dati osservazionali, per la parte chimica e biologica esiste una vasta letteratura prodotta principalmente dall' "Istituto per lo Sfruttamento Biologico delle Lagune" del C.N.R. di Lesina (Marolla 1980, 1989).

2. LA LAGUNA DI LESINA E LA SUA MODELLAZIONE

La laguna di Lesina (Fig. 1a) comunica con il mare attraverso due canali, Acquarotta ad ovest e Schiapparo ad cst. La sua lunghezza e di circa 22 Km con una larghezza massima di circa 3.5 Km per un'area complessiva di circa 51 km^2. I suoi fondali, costituiti da sabbia costiera, detriti e fanghi, hanno una profondità media di circa 0.7 m con valori massimi attorno ai 2 m (Fig. Ib). II regime idrologico è fortemente influenzato sia dalle condizioni meteo-climatiche locali che dall'apporto di acque dolci di diversi corsi d'acqua, tutti situati lungo il bordo meridionale, che inducono cospicui gradienti orizzontali di salinità tra est ed ovest.

Mentre solo una modellazione tridimensionale potrebbe riprodurre compiutamente la complessità di una struttura idrologica come quella sopra accennata, è pur vero che informazioni rilevanti in merito alla circolazione della laguna ed agli scambi di questa con il mare possono essere ottenuti studiando la componente barotropica del moto. Ciò e ancor più vero se si tiene conto del fatto che, data la bassissima profondità del bacino, i moli innescati da input meccanici esterni prendono sicuramente il sopravvento rispetto ad una eventuale circolazione di tipo termoalino. Si è quindi fatto uso delle cosiddette equazioni di "acque basse" per un fluido omogeneo ed incompressibile (e.g. Pedlosky, 1987):

$$\begin{cases} u_t + uu_x + vu_y - fv = -g\eta_x + A_H\nabla^2 u + \dfrac{(\tau_{w1} - \tau_{b1})}{\rho H} \\ v_t + uv_x + vv_y + fu = -g\eta_y + A_H\nabla^2 v + \dfrac{(\tau_{w2} - \tau_{b2})}{\rho H} \\ \eta_t + (Hu)_x + (Hv)_y = 0 \end{cases}$$

dove $\mathbf{u}(\mathbf{x},t)$ e la velocità mediata verticalmente, $\eta(\mathbf{x},t)$ lo spostamento della superficie libera, ρ la densità, f il parametro di Coriolis, AH il coefficiente di eddy viscosity laterale, τ_w lo stress del vento, $\tau_b=\rho C_{Db} \mid \mathbf{u} \mid \mathbf{u}$ lo stress del fondo, $H=D+\eta-d$ dove D è la profondità media e $d(\mathbf{x})$ la topografia del fondo. La risoluzione orizzontale è $\Delta x=\Delta y=200$ m, la risoluzione temporale e $\Delta t=8$ s, $C_{Db}=0.002$ ed $A_H=100$ m^2/s. Il problema ai valori iniziali con condizioni iniziali nulle e condizioni al bordo di tipo free-slip lungo le coste vicine risolto per mezzo di uno schema leap-frog esplicito alle differenze finite sul grid C di Arakawa, come descritto in Pierini (1996). Si noti che per

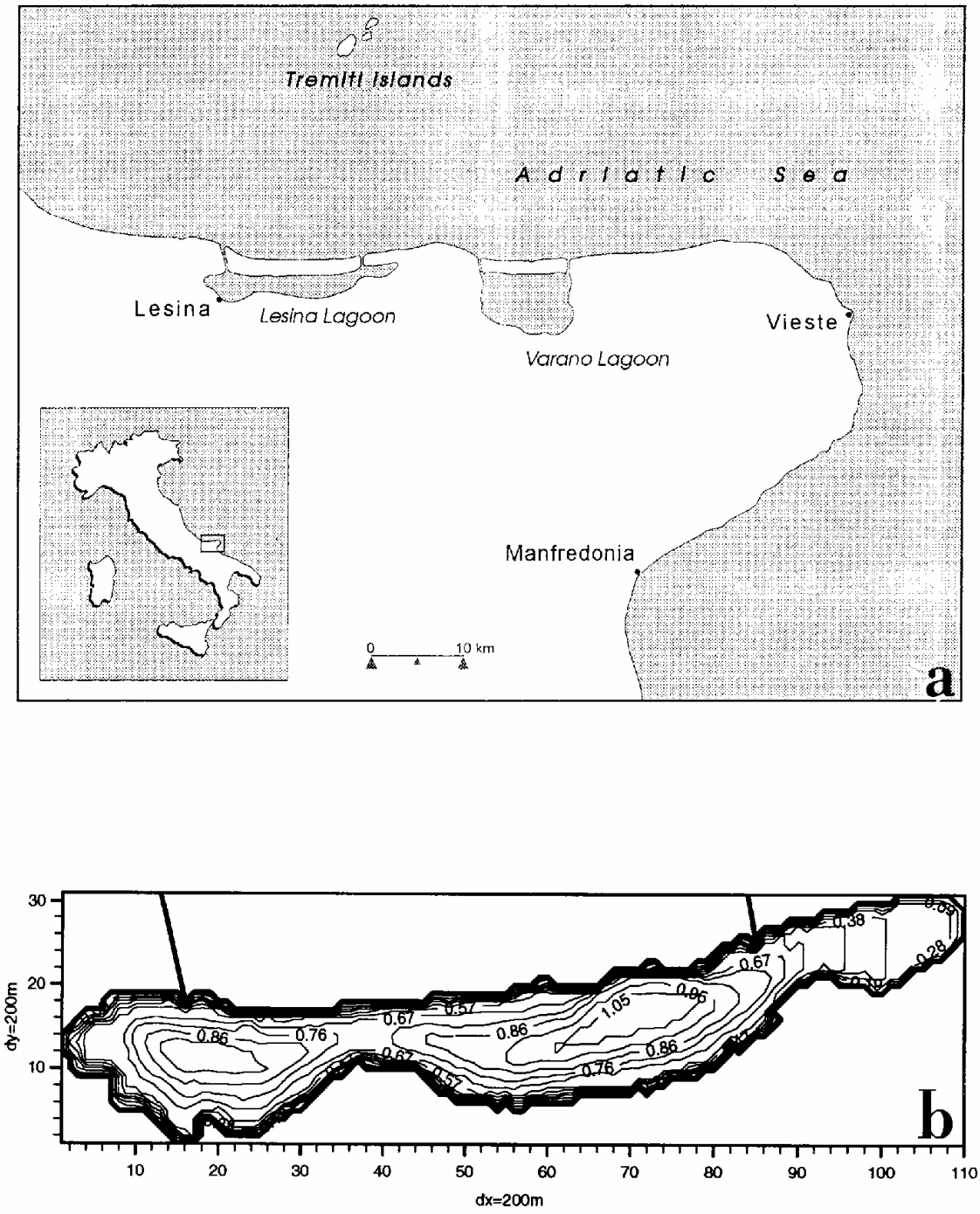


Fig. 1 - La Laguna di Lesina (a) e la sua topografia (b).

un tempo di simulazione di 48 ore il VAX 4000 impiegato nel presente studio richiede circa 2 ore di tempo di C.P.U.. Ciò può consentire una utilizzazione del modello a fini gestionali e di controllo della laguna (1'utilizzo di una moderna workstation comporterebbe tempi di calcolo ancor più ridotti).

3. APPLICAZIONE DEL MODELLO A SITUAZIONI REALI

II forzante mareale viene introdotto nella laguna attraverso i due canali che la collegano al mare Adriatico. Per imporre questo forzante nel modello sono state utilizzate registrazioni mareografiche effettuate a Vieste che hanno consentito la determinazione delle ampiezze e delle fasi della marea per questa località dal 11/2/94 al 28/2/94, con 1'ipotesi che tali parametri non varino tra Vieste e la zona prospiciente la laguna di Lesina.

Per quanto riguarda il forzante di vento sono state considerate le registrazioni di un anemometro operante presso 1'Istituto per lo Sfruttamento Biologico delle Lagune durante tutto il mese di Febbraio 1994. Gli effetti dei due forzanti sulla circolazione delle acque della Laguna di Lesina sono stati studiati dapprima separatamente e, successivamente, e stata analizzata la risposta alla loro concomitante azione. La topografia e la linea di costa che definiscono rispettivamente gli estremi verticali ed orizzontali di integrazione spaziale del modello sono state derivate direttamente da misure batimetriche della laguna, consentendo cosi una elevata risoluzione spaziale (Fig- lb).

3.1. Forzante Mareale

Per quanto riguarda il primo esperimento con il solo forzante mareale il modello riproduce in maniera eccellente tutte le fasi della marea. Nella Fig. 2a si può notare la registrazione mareografica usata come input in uscita dai due canali della laguna rispetto a due registrazioni temporali di velocità ed elevazione superficiale (Fig. 2b,c) simulate con il modello numerico a partire dal giorno 11 Febbraio 1994. La prima (Fig. 2b) si riferisce ad un punto che si trova all'entrata del canale ovest in laguna e la seconda (Fig. 2c) si riferisce al punto di griglia (38,14) all'interno della laguna. L'altezza di marea (linea continua) si attenua rapidamente all'entrata in laguna a causa della bassissima profondità. Questo risultato e Concorde con altri studi analoghi (Milano & Venutelli, 1994). Le velocità si mantengono in fase tra di loro e sfasate di 90 gradi con 1'elevazione, come previsto dalla teoria. In particolare in entrata in laguna della marea la velocità v normale alle bocche (linea tratteggiata) risulta chiaramente maggiore della componente u. Nel punto di griglia (38,14) la marea si propaga invece orizzontalmente e la componente u della velocità risulta maggiore della componente v.

Nella Fig. 3a può essere osservato il campo di velocità dopo 29 ore di simulazione, e cioè al momento in cui l'altezza di marea in entrata nella laguna è nulla e le velocità presentano un picco positive (massimo di entrata). Nella Fig. 3b è rappresentato il campo di velocità dopo 32.5 ore di simulazione, e cio6 al momento in cui 1'elevazione superficiale presenta un picco positivo e le velocità sono nulle. Nella Fig. 3c troviamo 1'ultima fase di marea, cioè quella al momento in cui, dopo 36 ore di simulazione, 1'elevazione superficiale e di nuovo nulla, mentre le velocità presentano un picco negative (massimo di uscita). Si sottolinea che la relazione sopra descritta tra forzante mareale e correnti indotte concorda con quanto stabilisce la teoria della marea, a conferma della validità dei risultati forniti dal modello numerico.

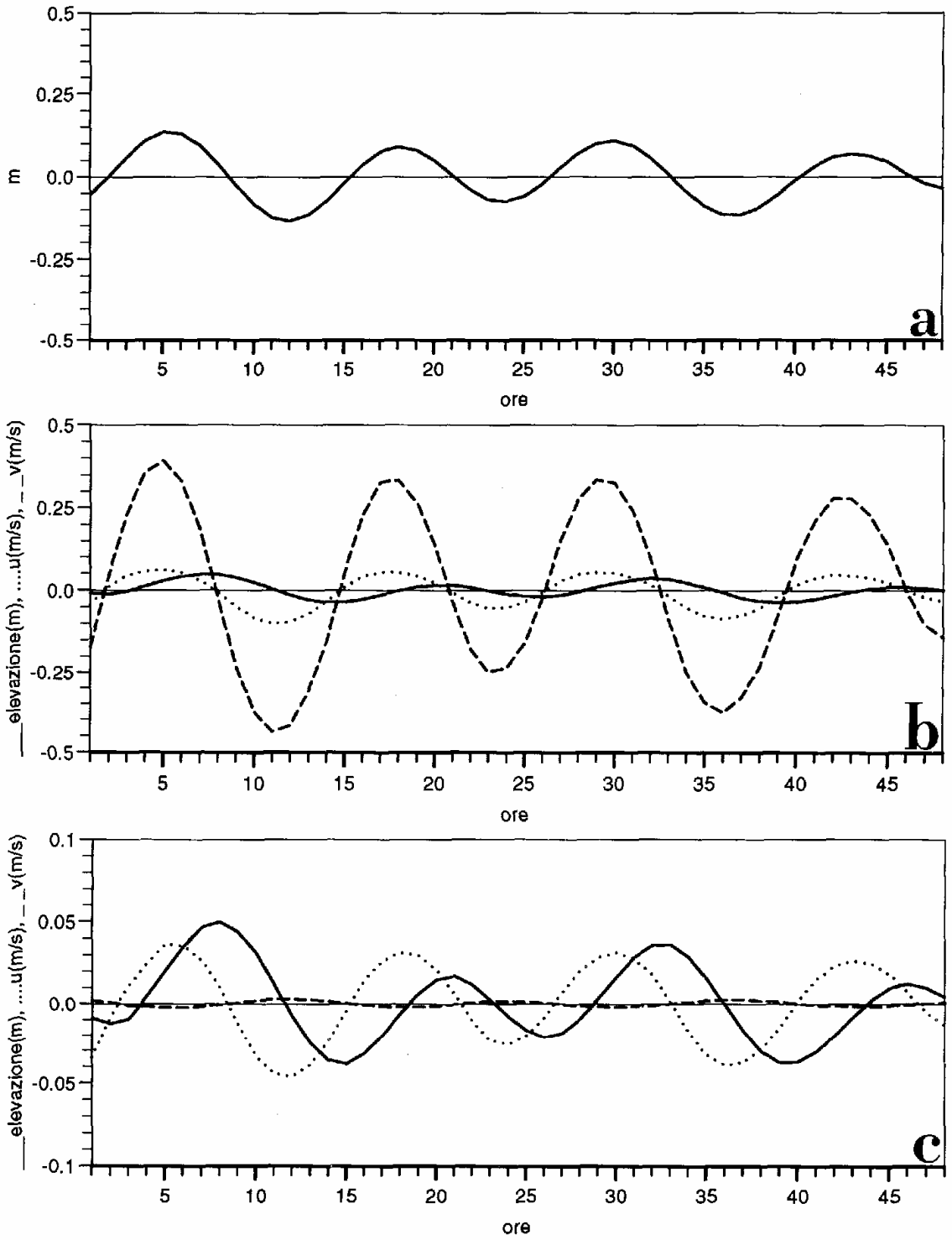


Fig. 2 - Andamento della marea oraria a Vieste per il periodo utilizzato per le simulazioni numeriche (a). Elevazione superficiale (linea continua) e velocità orarie (linee tratteggiate) simulate all'entrata del canale ovest in laguna (b). Elevazione superficiale (linea continua) e velocità orarie (linee tratteggiate) simulate nel punto di griglia (38,14) all'interno della laguna (c).

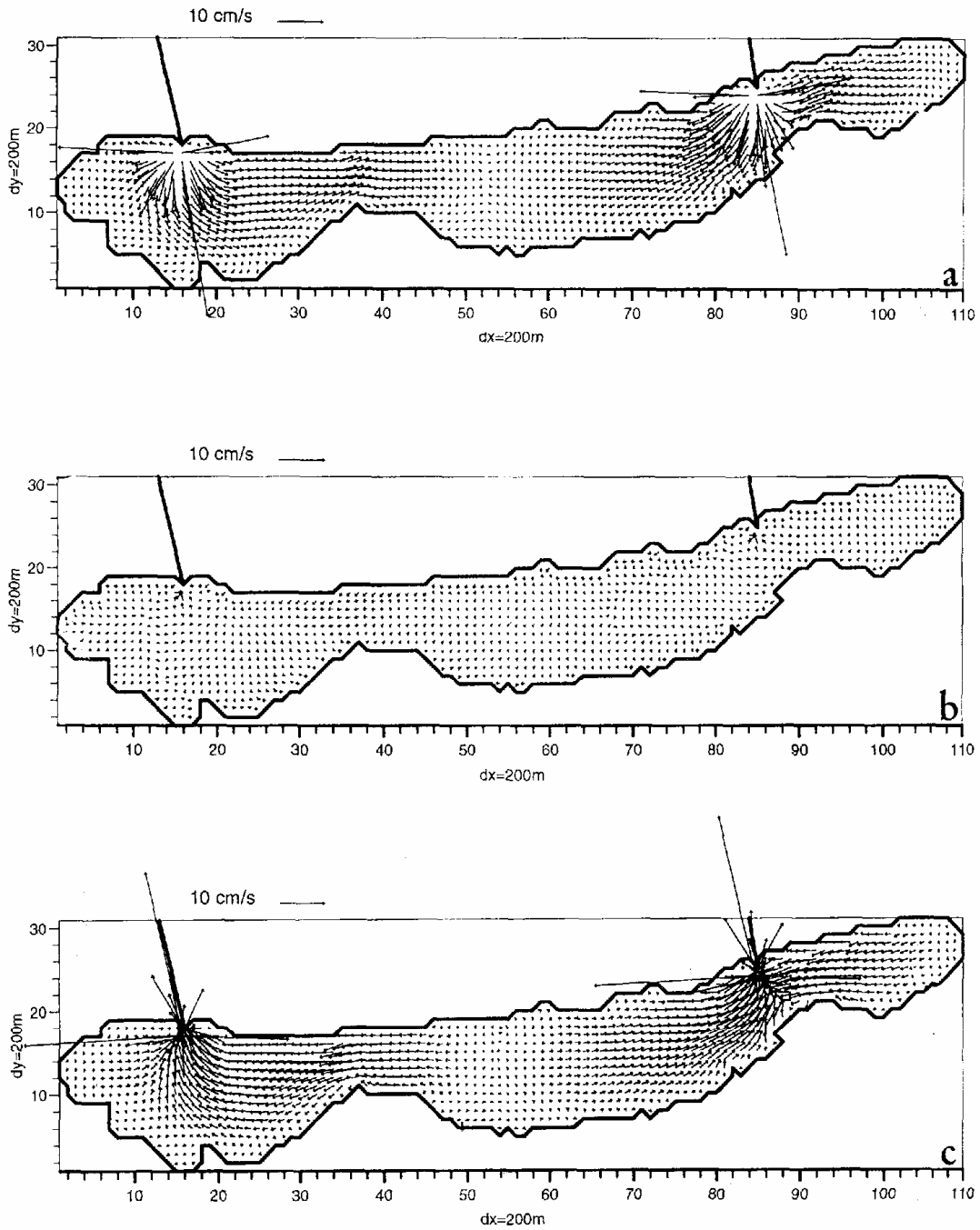


Fig. 3 - Campo di velocità dopo 29 (a), 32.5 (b), 36 ore (c) di simulazione (solo marea).

3.2. Forzante di vento

Nel caso in cui venga considerate il solo forzante di vento la circolazione e in accordo con risultati riguardanti bacini con caratteristiche geometriche analoghe. Come si pu6 notare dalla Fig. 4a la laguna di Lesina risulta maggiormente influenzata da venti che spirano da ovest, cioè lungo 1'asse longitudinali del bacino. Le Figg. 4b e 4c mostrano il campo di elevazione superficiale e di velocità, dopo 32 ore di simulazione a partire dal giorno 11 Febbraio 1995, ovvero al momento in cui il vento e di 4.6 m/s ovest. Si può notare il formarsi di un setup positivo di circa 0.08 m nella parte est della laguna e di un setup negative di circa -0.07 m nella parte ovest (Fig. 4b). La risposta a questi venti, che peraltro sono dominanti lungo il litorale nord garganico, è composta quindi da un flusso concorde al vento lungo le due coste laterali e da una ricircolazione inversa nella parte centrale del bacino (Fig. 4c). Questo comportamento e tipico di bacini non rotanti nei quali la profondità e molto bassa lungo la costa e va aumentando nella parte centrale (Rao & Murty, 1970; Csanady, 1984). Nella fascia costiera lo stress del vento e maggiore del gradiente di pressione ed il fluido accelera nella stessa direzione del vento. Laddove la profondità e maggiore la forza del gradiente di pressione diviene dominante determinando cosi un ritorno del flusso.

E' da notare che la parte più orientale del bacino, dove le profondità sono molto basse, non viene molto interessata dalla ricircolazione, e che la restante parte della laguna (formata da due bacini quasi simili uniti da una stretta sella con profondità minore) presenta due schemi di circolazione pressoché distinti nei due sottobacini. In altri esperimenti (qui non presentati) con venti di differente intensità si e osservato che queste due celle rimangono divise per venti bassi e si uniscono in un unico pattern di circolazione per venti superiori a 5 m/s.

3.3. Forzante mareale e di vento

II terzo esperimento si riferisce al caso più realistico, cioè a quello in cui la laguna è sottoposta sia a forzante mareale che di vento. Questi forzanti sono quelli già introdotti separatamente nelle simulazioni descritte in precedenza. La situazione è abbastanza diversa da quella con sola marea mostrata nei paragrafo precedente ed anche i comportamenti delle due bocche sono differenti.

Il ruolo determinante svolto dal contributo del vento viene mostrato con chiarezza dalle Figg. 5a,b,c ottenute rispettivamente dopo 29, 32.5 e 36 ore di simulazione, come nei caso di solo forzante mareale. Confrontando la Fig. 5a con la Fig. 3a si può effettivamente notare come il vento intensifichi la circolazione in corrispondenza della bocca ovest, e la riduca in corrispondenza della bocca est. La Fig. 5b mostra il campo di velocità dopo 32.5 ore di simulazione. II confronto di questa con la Fig. 3b rende ancora più evidente come il vento favorisca l'ingresso di acqua nella bocca ovest, fatto questo compensato dalla fuoriuscita di un flusso verso il mare nei canale est. La Fig. 5c indica una intensificazione dell'efflusso dalla bocca est rispetto al caso di assenza di vento (Fig. 3c), con una parallela diminuzione dello scambio laguna-mare prodotto dalla foce ovest. Inoltre il vento induce una maggiore variabilità spaziale del campo di velocità, fenomeno questo particolarmente evidente nella parte ovest, dove si osserva la formazione di meandri.

Si può quindi concludere che in tutti i casi riportati in questo ultimo esperimento il setup indotto da un vento che spira da ovest favorisce 1'entrata di acqua marina nel canale ovest e 1'uscita di acqua lagunare dal canale est.

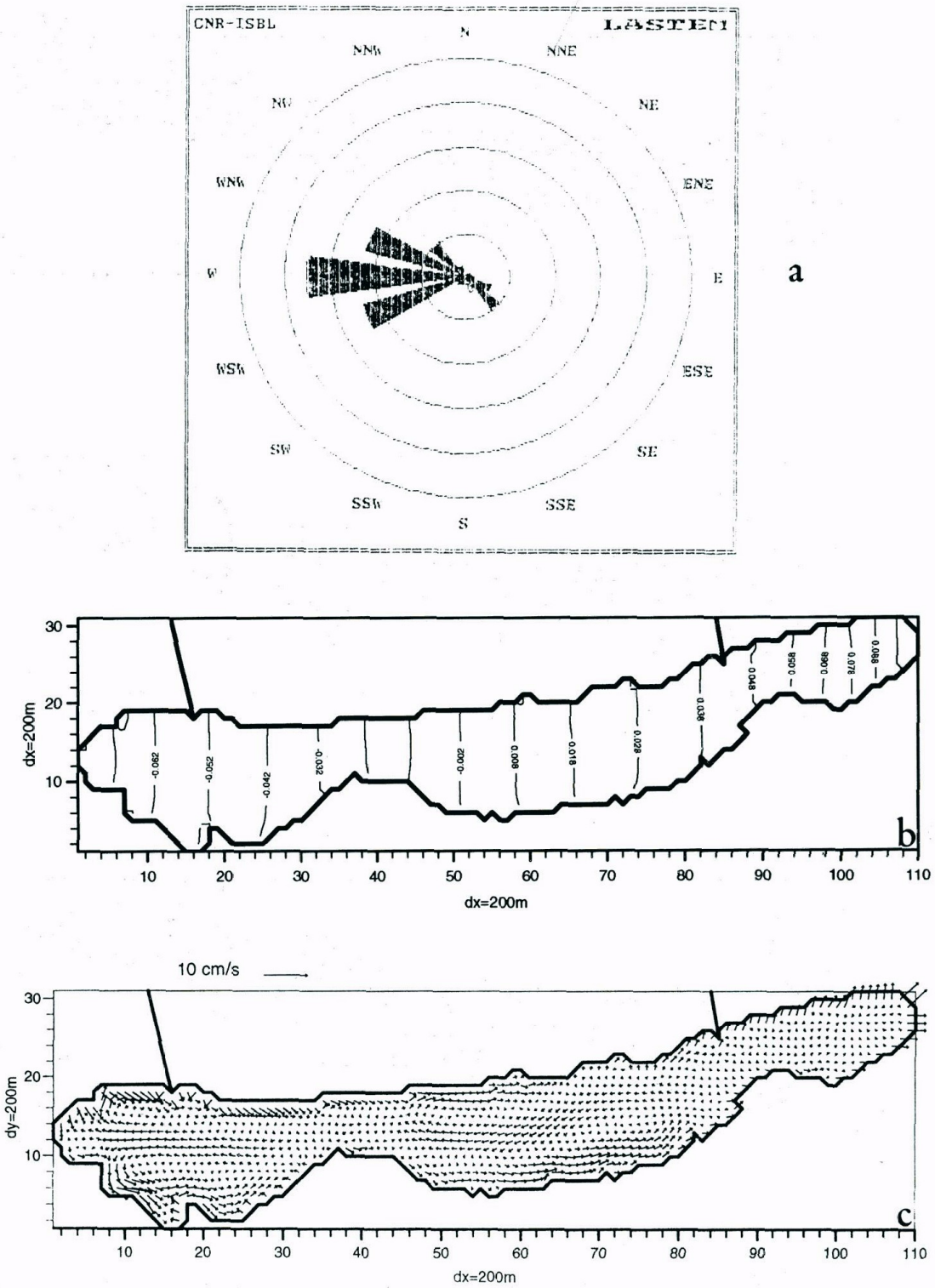


Fig. 4 - Grafico della frequenza della direzione del vento per il Febbraio 1994 (a). Campo di elevazione superficiale (b) e di velocità (c) dopo 32 ore di simulazione (solo vento).

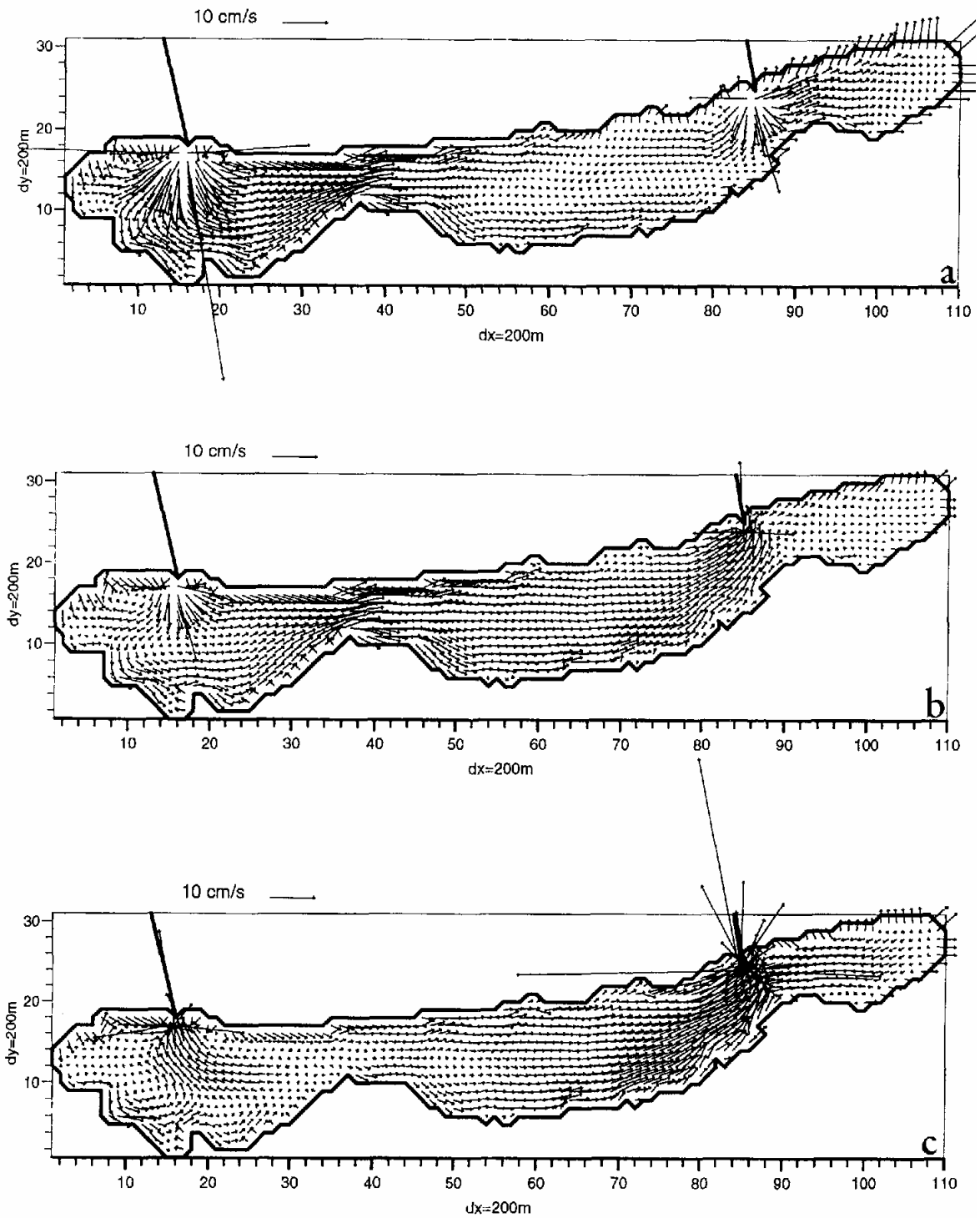


Fig. 5 - Campo di velocità dopo 29 (a), 32.5 (b), 36 ore (c) di simulazione (marea e vento).

4. CONCLUSIONI

Nello studio degli ambienti lagunari diviene sempre più evidente la necessità, al fine della loro gestione ed utilizzazione, di una conoscenza dettagliata delle caratteristiche fisico-chimico-biologiche delle masse d'acqua. Tuttavia, mentre per quanto concerne la parte chimico-biologica esiste in genere una quantità di dati non indifferente, le informazioni relative alla circolazione delle acque ed alla loro variabilità risultano spesso inadeguate in ordine alla formulazione di un opportune riferimento fenomenologico, anche a causa dell'elevato costo del dato oceanografico. Per questi motivi la comunità scientifica fa sempre più ricorso allo strumento della modellazione matematica per delineare le caratteristiche dinamiche del corpo d'acqua.

Va sottolineato come i risultati ottenuti dal modello matematico hanno, oltre alla valenza scientifica in sé, la possibilità di produrre degli strumenti operativi per il controllo e la tutela delle acque. Nello specifico si è potuto definire l'effetto della componente meteorologica e di quella mareale sia in merito alla circolazione risultante che al ruolo svolto dalle due foci (Acquarotta e Schiapparo) nello scambio laguna-mare. E' proprio sulla capacita di fornire risposte adeguate al problema dinamico che deve essere impostata qualsiasi azione destinata al miglioramento della qualità delle acque lagunari, anche in funzione di un incremento della loro potenzialità produttiva.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano il Dott. P. Trotta, il Dott. S. Ferraro ed il Sig. V. Marolla per aver fornito rispettivamente i dati batimetrici, mareali e meteorologici.

BIBLIOGRAF1A

Csanady. G. T. 1984. Circulation in the Costal Ocean. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 279 pp.

Ficca, G., S. Pierini & R. Purini. 1996. A wind and tidally driven circulation model of the Lagoon of Lesina (Southern Italy). Sottomesso a *Oceanography and Limnology.*

La Salandra, G., G. Priore & P. Villani. 1992. Rimonta del novellame e gestione produttiva delle risorse lagunari: laguna di Lesina. *Biologi Italiani,* Anno XXII, No. 10: 49-52.

Marolla, V. 1980. La laguna di Lesina: condizioni chimico-fisiche durante l'anno 1975. *Ist. S. B. L. - C.N.R.,* Lesina, 4, 15 pp.

Marolla, V. 1989. La laguna di Lesina: condizioni chimico-fisiche durante l'anno 1977. *1st. S. B. L - C.N.R.,* Lesina, 1, 23 pp.

Milano, V. & M. Venutelli. 1994. Modello idrodinamico della laguna di Orbetello. *Atti del XXIV Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche,* Napoli 20-22 Settembre 1994, Vol. 2, T3a (37-48).

Pedlosky, J. 1987. Geophysical Fluid Dynamics. Springer Verlag, New York, 710 pp.

Pierini, S. 1996. Topographic Rossby modes in the Strait of Sicily. *J. Geophys. Res.,* 101:C3(in press).

Rao, D. B. & T. S. Murty. 1970. Calculation of the steady-state wind-driven circulation in Lake Ontario. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.,* A19: 195-210.

Villani, P., V. Marolla & P. D'Apote. 1988. Osservazioni sulla rimonta del novellame destinabile all'allevamento nell'area di foce Schiapparo nell'anno 1985. *Ministero MM.-CNR,* Roma, Vol. 2: 957-975.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 593 - 602

IDRODINAMICA DI UNA LACUNA COSTIERA (LAGUNA DI SABAUDIA)

Virginia LA MURA e Giancarlo SPEZIE

Istituto di Meteorologia e Oceanografia IUN, Napoli

ABSTRACT

In the frame of the research on lagoon ecological conditions, supported by the National Research Council, an hydrological and dynamical study of the Sabaudia Lagoon is carried on.

Some preliminary results concerning the March - July '94 period are presented.

Five monthly hydrological surveyes show a clear increasing of the temperature and salinity, with the advancing of the seasons, from the southern part of the lagoon towards the northern one. This is due to the main influence of the Torre Paola outlet. A well defined two layer structure is present in the deeper area.

From a dynamical point of view the energy density spectrum, deduced from the currentmeter records, show a weak velocity field dominated by a 12 hours tidal component, a daily wind component, particularly active in the spring and summer seasons, and a meteorological 4-5 days component due to the pressure field on the thyrrenian basin.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del sistemi marini costieri, gli ambienti lagunari hanno sempre rivestito notevole importanza per la loro elevata produttività biologica: lo sfruttamento delle loro risorse, documentato a partire dall'età neolitica, e tuttora un aspetto importante delle attività di popolazioni rivierasche.

Per contro, la ricerca scientifica sulle lagune solo recentemente ha preso in considerazione problemi di natura applicativa, mentre da oltre un secolo si sono sviluppate ed affermate tematiche relative ala fisiologia degli organismi lagunari e, più in generate, ai problemi di adattamento e selezione biologica (Carrada et al., 1988).

Un approccio ecosistemico allo studio delle lagune, premessa necessaria a studi di carattere applicative, si e andato sviluppando a partire dagli anni '70. Queste ricerche, tuttavia, hanno posto molta enfasi sul comparto biologico, mentre per quello abiotico ci si e, per lo più, limitati all'analisi di alcune forzanti fisico-chimiche.

Questi sono, in sintesi, i motivi per cui sono rari in letteratura approcci all'ecosistema lagunare che affrontino organicamente i due comparti e le loro interrelazioni. In questo senso, un esempio rappresentativo per le lagune mediterranee e rappresentato dal

programma di ricerche condotte sulla laguna di Thau, i cui risultati hanno messo in evidenza 1'importanza delle forzanti di tipo fisico nel governare il funzionamento del comparto biotico, e, quindi, dei processi produttivi (Amanieu et al., 1989; Millet, 1989) e, per citare un esempio geograficamente più vicino a noi, il programma di ricerche condotte sul lago Fusaro (Iannibelli et al., 1988; La Mura & Spezie, 1992).

Nel nostro caso, lo studio e state centrato soprattutto sulla dinamica del comparto fisico mentre quello biotico e stato sinteticamente seguito tramite la distribuzione del particellato organico che ha un ruolo centrale nelle reti trofiche lagunari (UNESCO, 1980, 1981). Basti considerare, a questo proposito, l'importanza preponderante degli organismi detritivori presenti in questo ambiente.

Pur tenendo presente che ogni sistema lagunare ha una fisionomia ecologica particolare e che solo in termini generali e possibile estrapolare le conoscenze raccolte in una laguna ad ambienti simili anche adiacenti, la laguna di Sabaudia, per la complessità del suo bacino, che genera delle sub unita funzionali assimilabili a tipologie lagunari diverse, può essere considerata un sito di studio i cui risultati possono avere una ricaduta conoscitiva più generale.

In questo lavoro vengono discussi alcuni risultati preliminari sulle caratteristiche idrologiche e dinamiche della laguna rilevate nel periodo Marzo÷Luglio 1994.

2. MATERIALI E METODI

La determinazione del campo della densità e stata ottenuta in base a misure idrologiche eseguite una volta al mese. II vento, la marea e la corrente sono stati rilevati ad intervalli di campionamento di un'ora, per il vento, e di 10 minuti, per la corrente e la marea.

Come passo preliminare, e stata eseguita una batimetria lungo transetti prestabiliti, utilizzando uno scandaglio di precisione per piccole profondità; il posizionamento dei punti intermedi ed estremi di ogni transetto è stato ottenuto con la tecnica del GPS differenziale (Differential Global Position System), con errore sulla misura di qualche metro.

La pianificazione delle misure da effettuare sul campo dinamico è stata preceduta da una fase di indagini preliminari durante la quale sono state eseguite misure del flusso di corrente in relazione alla forzante mareale, lasciando in registrazione per un mese due mareografi WLR-5 e due correntometri RCM-4S, tutti della Aanderaa, posizionati rispettivamente nella foce di Torre Paola e nella foce del Caterattino.

Sulla base di questi risultati si e ritenuto opportuno lasciare in acquisizione il solo mareografo nella foce di Torre Paola attraverso la quale si ritiene avvenga il maggior contributo al ricambio di acqua.

Per la descrizione della circolazione all'interno della laguna e stato posizionato un correntometro nella parte sud, ad una profondità di circa 4 m, che risente maggiormente del flusso di acqua entrante e uscente, attraverso la foce di Torre Paola (punto A in Fig. 1) e un correntometro al centro del corpo principale della laguna in corrispondenza del braccio della Molella, ad una profondità di 6 m (punto B in Fig. 1).

Per la descrizione del campo del vento e stato posizionato un anemografo della SIAP mod. VT 1280 a registrazione su carta.

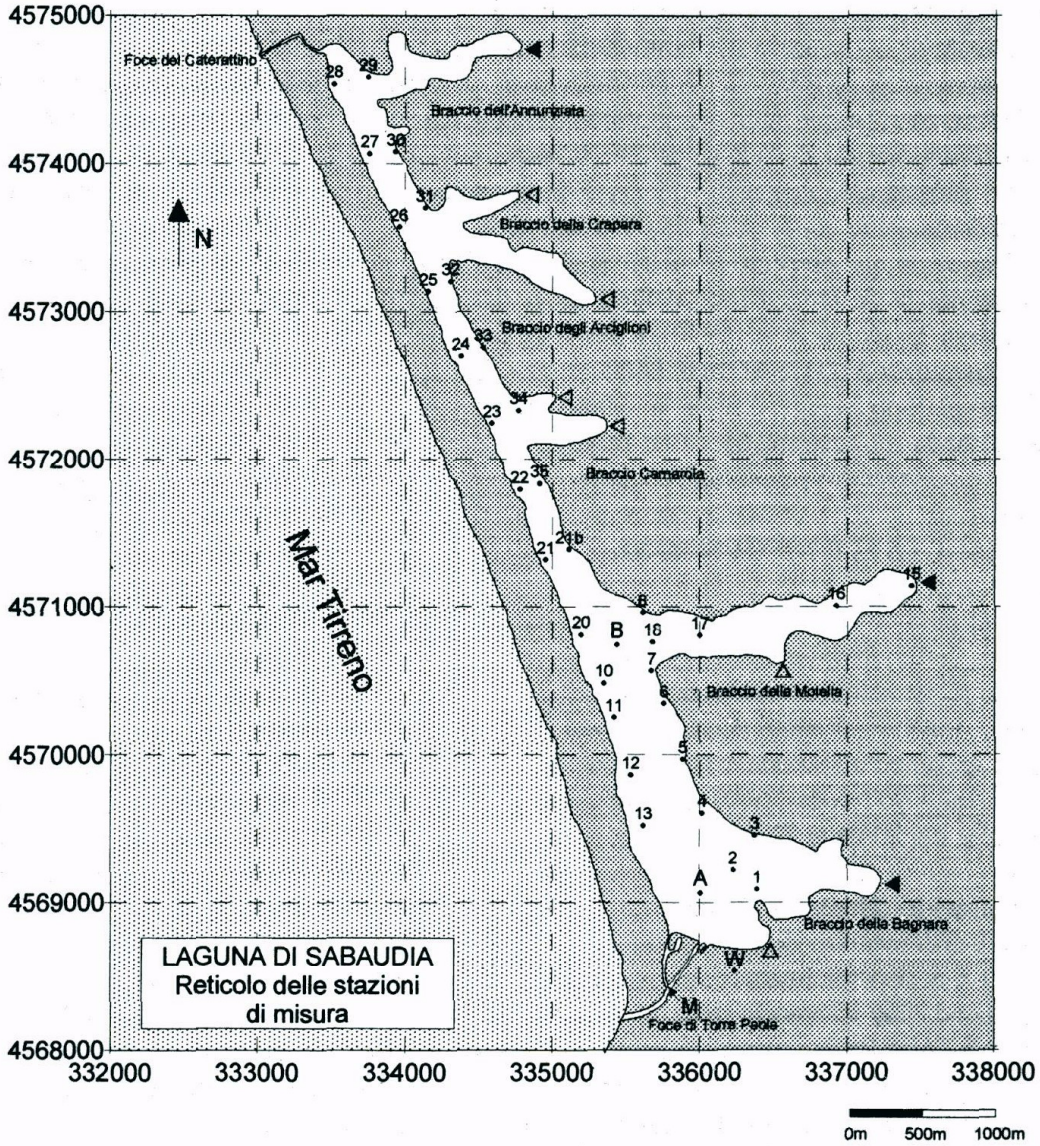


Fig. 1 - Digitalizzazione della carta di Gauss-Boaga F°170 della carta d'Italia (Istituto Geografico Militare)

- ● A e B (Punti correntometrici)
- ↑ M (Mareografo)
- ● W (Anemografo)
- ● Da 1 a 35 (Stazioni idrologiche)
- ▲ Apporti di acqua dolce perenni
- △ Apporti di acqua dolce stagionali

Le stazioni idrologiche (Fig. 1) sono state scelte sui punti estremi di transetti trasversali all'asse longitudinale del corpo principale della laguna dove la morfologia del fondo segue una pendenza verso ovest, e lungo 1'asse longitudinale del braccio della Molella, che presenta le maggiori profondità.

Durante le prime due campagne idrologiche e stata utilizzata una sonda multiparametrica SEACAT SEE 19 della Seabird, interfacciata ad un PC portatile, che ci ha consentito 1'acquisizione in continue dei parametri di temperatura e salinità nella area centro-meridionale della laguna. Per la parte più a nord, caratterizzata da abbondanti valori di materiale sospeso e alghe, e stata utilizzata una sonda OEC della Beckman, precedentemente confrontata con la sonda SEE 19, che meglio si presta per applicazioni in acque con queste caratteristiche. Sulle stesse stazioni sono stati prelevati campioni di acqua per la determinazione dell'ossigeno disciolto, effettuata mediante il metodo di Winkler (Saggiomo et al., 1990), e per la taratura della salinità, utilizzando il salinometro da laboratorio AUTOSAL mod.8400.

Nel periodo Maggio-Luglio la massiccia presenza di alghe in laguna ha impedito 1'uso della sonda multiparametrica e le misure idrologiche sono state effettuate con la sonda OEC e prelevando campioni di acqua per le successive analisi.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel periodo Marzo-Luglio '94 sono stati eseguiti rilievi idrologici nei giorni: 08/03, 21/04, 26/05, 29/06 e 27/07.

Le registrazioni correntometriche del punto A vanno dal 21/04 al 09/05 e dal 25/05 al 26/07, mentre nel punto B dal 21/04 al 18/05 e dal 28/06 al 31/07.

L'andamento mareale e stato acquisito nei periodi che vanno dal 09/03 al 29/06, dal 04/07 al 17/07 e dal 29/07 al 31/07. Infine la registrazione del vento va dal 08/03 al 26/05 e dal 30/06 al 31/07.

3.1. Caratteristiche idrologiche

Gli andamenti medi di temperatura e salinità, ottenuti mediando i valori alle quote di 0 m e 1,5 m rispettivamente (Tab. 1), fanno riconoscere nella laguna due zone distinte: una zona sud, fino al braccio della Molella, in cui la salinità e più alta per l'influenza della foce di Torre Paola, attraverso la quale si attiva il ricambio di acqua lagunare, e una zona nord, in cui la salinità e più bassa (Fig. 2).

L'andamento della temperatura (Fig. 2) evidenzia una inversione di tendenza nel periodo Maggio-Giugno: infatti la zona sud della laguna e più fredda della zona nord fino a questo periodo, poi diventa più calda.

E' da notare che gli andamenti di T ed S alle quote di 0 m e 1,5 m, sia nella zona sud che in quella nord, presentano la stessa caratteristica, per cui si può ritenere valido un unico andamento dello strato superficiale. In particolare il AT maggiore si ottiene tra Aprile e Maggio.

Tab. 1 - Valori medi di T ed S relativi alle quote di 0m e 1,5m rispettivamente calcolati per la zona sud e nord della laguna.

	Prof	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
Zona Sud	0.0	15.4	26.9	17.2	28.8	23.7	30.4	27.7	32.1	29.5	33.7
	1.5	15.5	27.1	17.0	29.2	23.5	30.4	27.5	32.2	29.4	33.8
Zona Nord	0.0	17.0	26.2	17.5	28.6	25.0	29.6	27.5	31.7	29.4	33.6
	1.5	16.3	26.8	17.1	29.0	23.7	30.1	26.9	31.8	28.7	33.6
		Marzo		**Aprile**		**Maggio**		**Giugno**		**Luglio**	

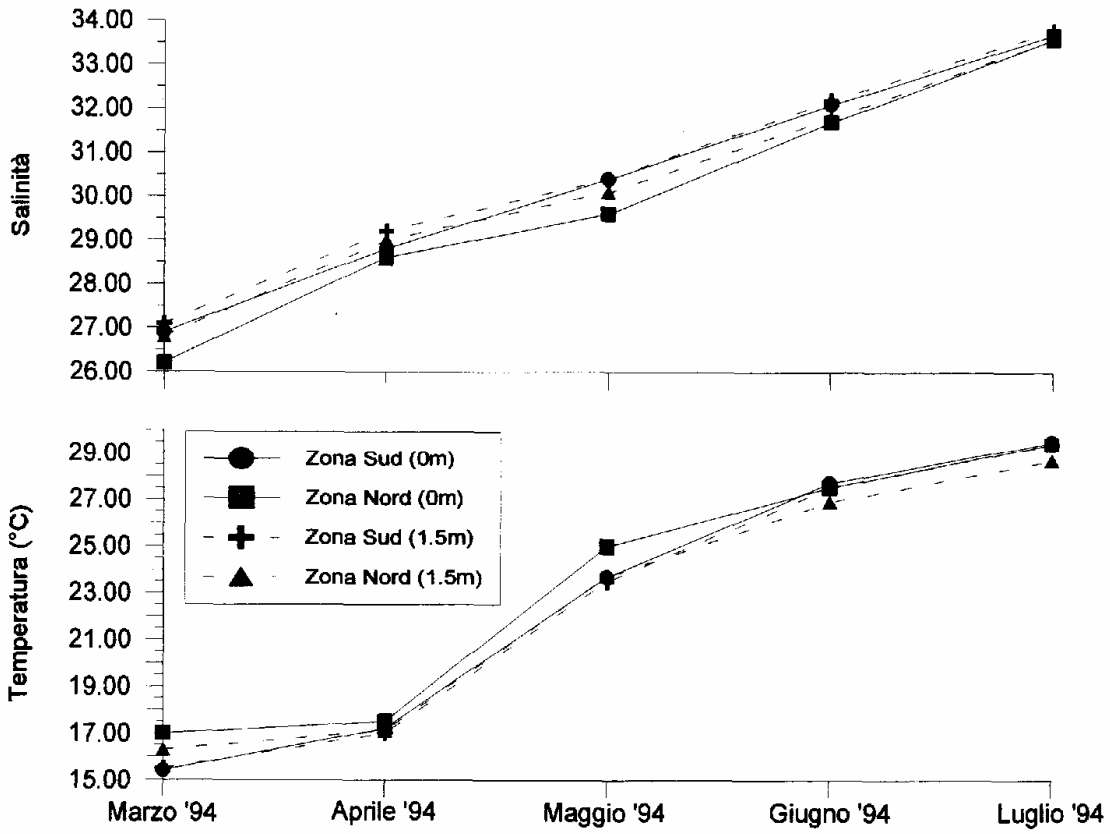


Fig. 2 - Andamento medio di T ed S alle quote di 0 e 1,5 m (periodo Marzo-Luglio '94).

Nella zona più profonda della laguna si attiva un picnoclino stagionale con conseguente strutturazione della colonna d'acqua in un ben delimitate doppio strato. Il ΔS, in queste condizioni, e dell'ordine di 5-6 psu (Fig. 3).

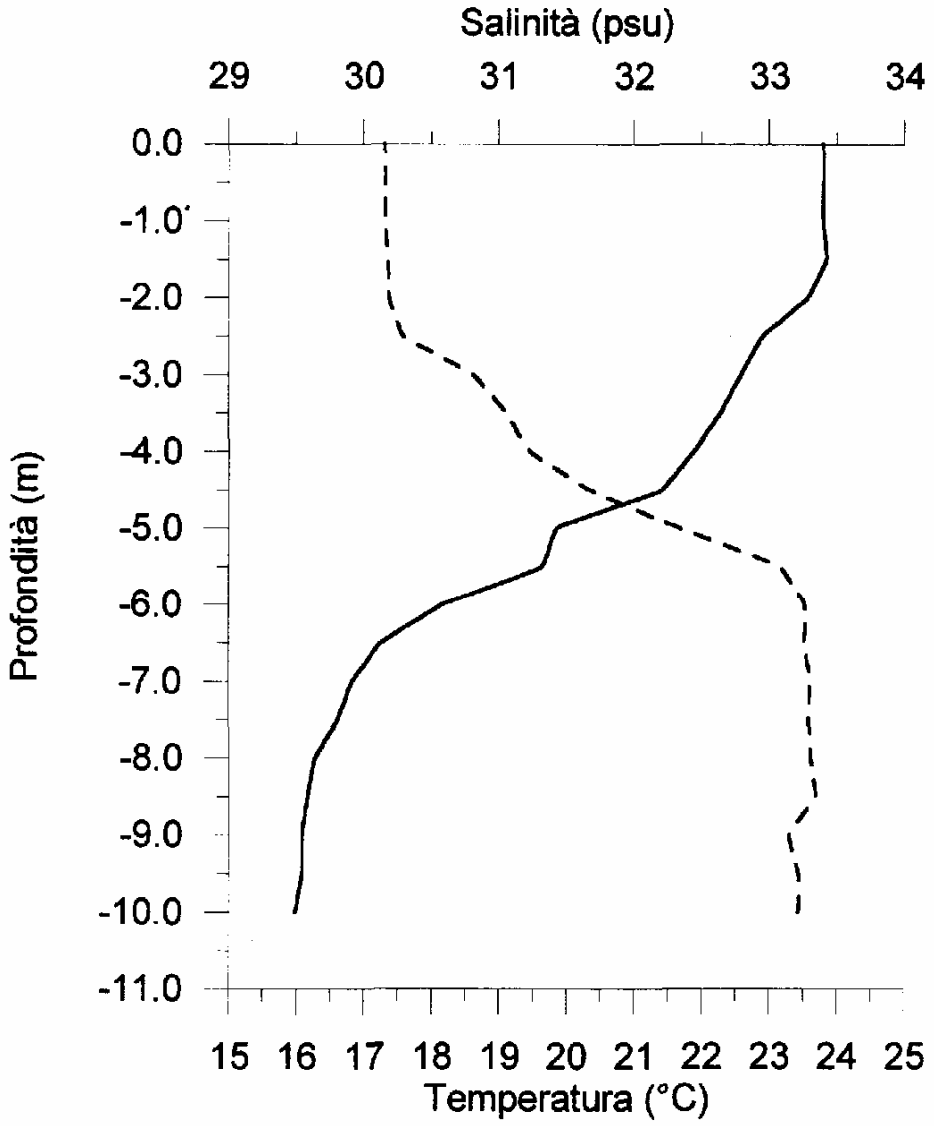


Fig. 3- Profilo verticale di T ed S relativo alla stazione n° 18 (26 Maggio '94).

3.2. Condizioni idrodinamiche

L'analisi dei dati mareali e correntometrici registrati nei punti indicati e nel periodo Marzo-Luglio '94 ha evidenziato alcune caratteristiche che possono essere così sintetizzate.

L'oscillazione mareale sul canale di Torre Paola è dell'ordine di 8 cm, come riportato in letteratura (AA.VV., 1985), con conseguente velocità media di 30 cm/s, ciò evidentemente implica che il volume d'acqua scambiato fra laguna e mare, con il ciclo mareale, è molto piccolo.

Più interessante risulta 1'oscillazione di medio periodo (4-5 giorni) di natura chiaramente meteorologica, che si sovrappone all'andamento mareale, che può raggiungere anche i 25 cm di altezza e quindi comportare un ingresso maggiore di acqua dal mare (Fig. 4).

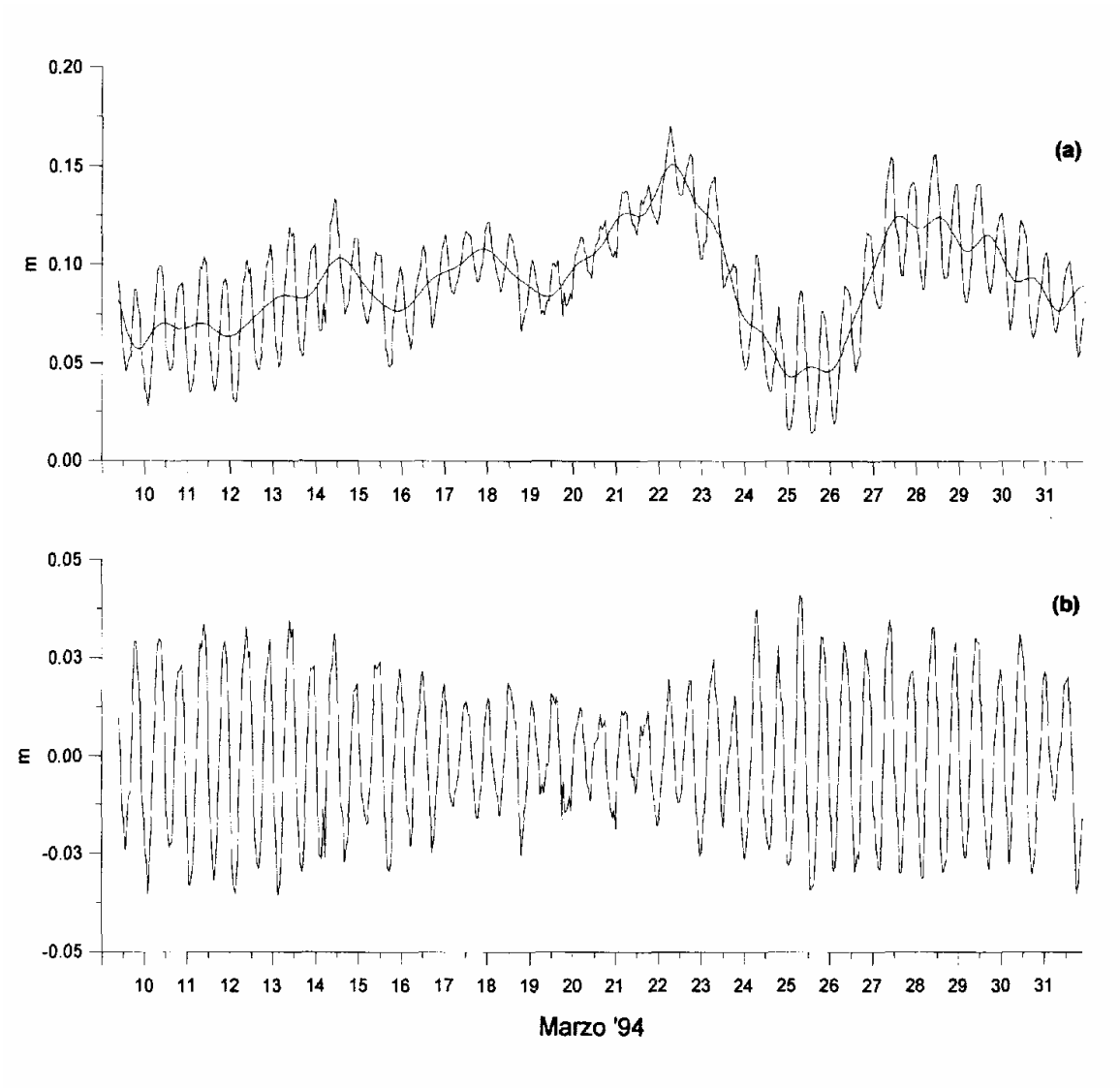


Fig. 4 - Foce di Torre Paola (periodo 9÷31 Marzo '94). (a) Registrazione del livello in foce e componente non mareale a bassa frequenza. (b) Componente mareale semidiurna.

L'influenza del periodo meteorologico tipico del bacino Tirrenico risulta evidente anche dall'analisi degli spettri di energia effettuati sulle componenti longitudinali e trasversali della velocità (da 0.005 a 0.02 cicli per ora, corrispondenti al periodo da 8 a 3 giorni), ricavate dalle registrazioni correntometriche del punti A e B, a conferma di quanto già ipotizzato con l'oscillazione mareale.

Dagli spettri di energia si evidenziano anche altri due picchi di intensità superiore: quello relative al periodo di 12 ore (componente mareale) e quello relative alle 24 ore (effetto della brezza). A titolo di esempio si riportano gli spettri relativi alle registrazioni del mese di Luglio '94 (Figg. 5 e 6).

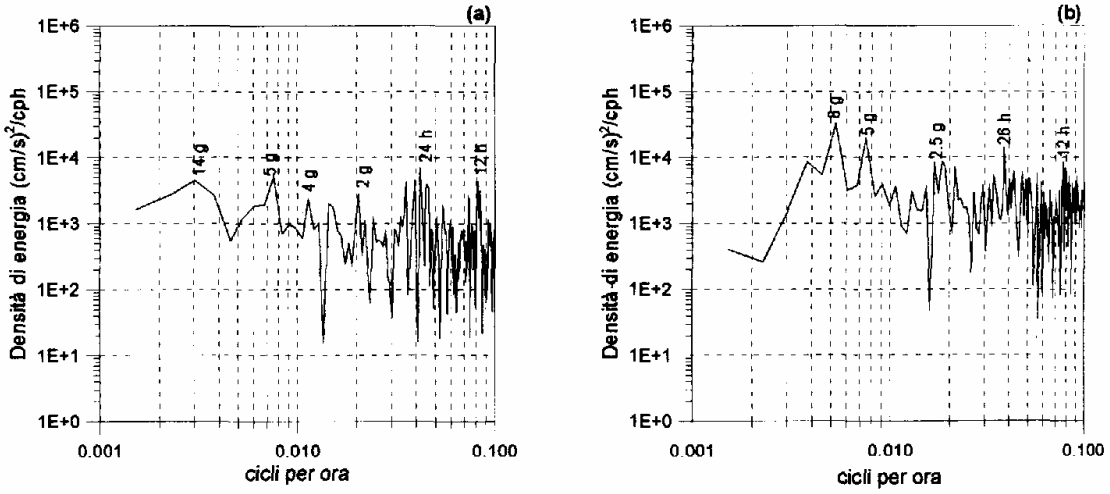


Fig. 5 - Spettri di energia calcolati sulla componente della velocità longitudinale (a) e trasversale (b) all'asse principale della laguna relativi al punto correntometrico A.

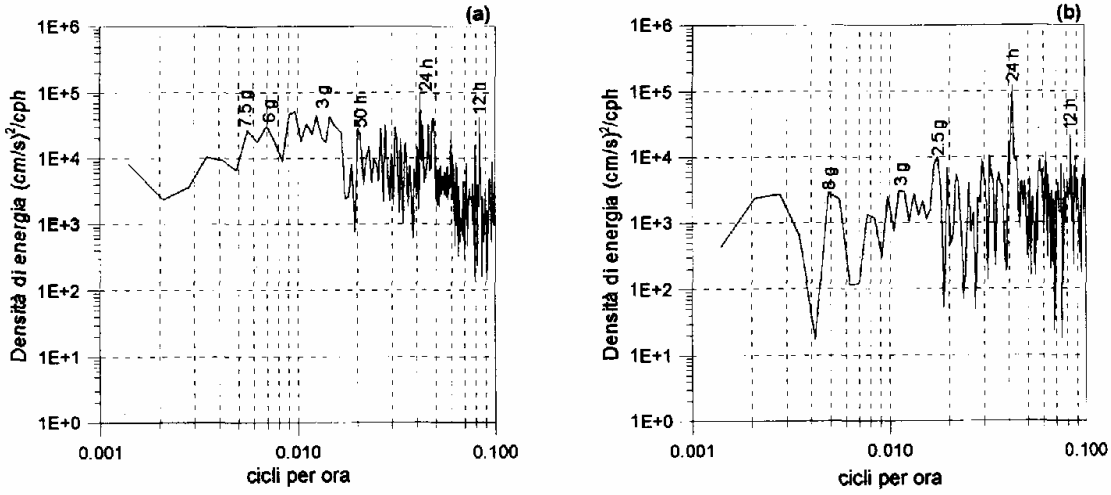


Fig. 6 - Spettri di energia calcolati sulla componente della velocità longitudinale (a) e trasversale (b) all'asse principale della laguna relativi al punto correntometrico B.

Per lo stesso periodo viene inoltre riportata la percentuale, in direzione e velocità, del vento registrato alla stazione anemometrica della laguna (Fig. 7).

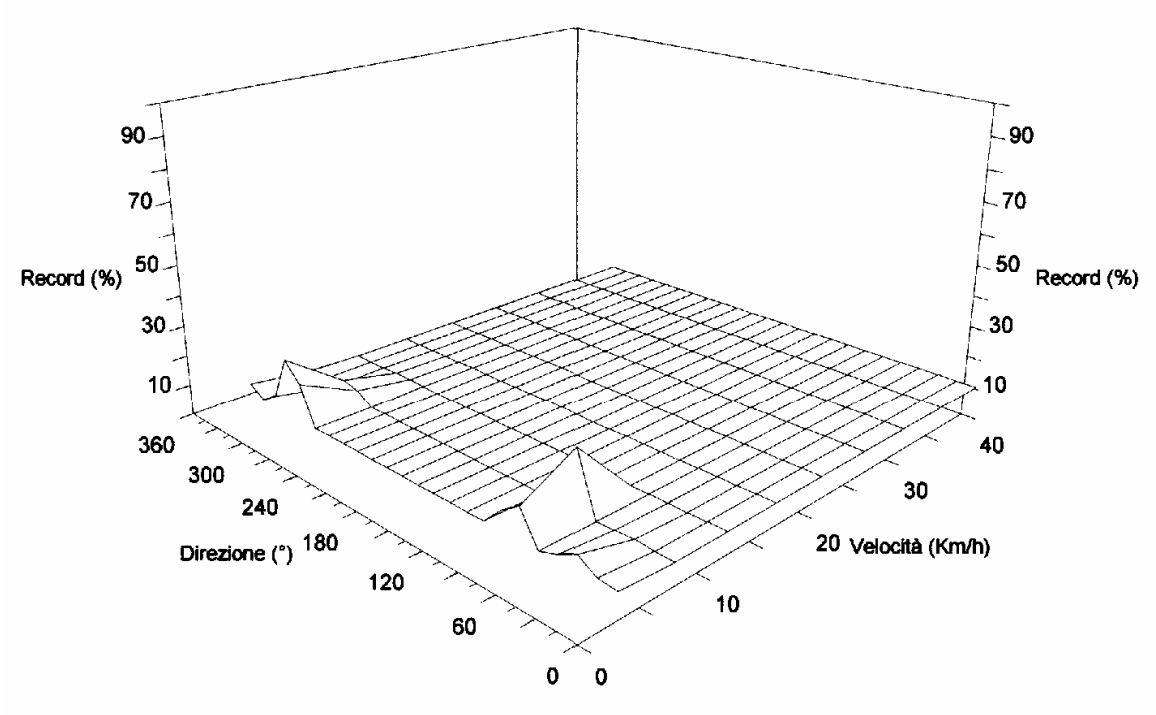


Fig. 7 - Velocità e direzione del vento espressi in percento rispetto al totale dei records. Luglio '94.

4. CONCLUSIONI

Dall'analisi preliminare dei dati raccolti si può stabilire che la laguna di Sabaudia è sottoposta a tre tipi di forzanti principali a conferma di quanto riportato in letteratura, Kjerfve (1994); la mareale (12 ore), il regime di brezza (24 ore) ed il campo della pressione atmosferica (8-3 giorni). La penetrazione delle acque dal mare e circoscritta alla immediate vicinanze della Foce di Torre Paola che, di conseguenza, subisce un più efficace ricambio delle acque. La rimanente parte viene ricambiata con processi lenti di mescolamento sollecitati dalla forzante vento che agisce generalmente in regime di brezza.

L'apporto di acque dolci continentali dovuto alla presenza di piccoli rivoli nei bracci laterali alla laguna e di sorgenti sul fondo per la presenza della falda acquifera superficiale costituiscono un ulteriore contributo al ricambio delle acque della laguna.

La distribuzione spaziale dei parametri idrologici, temperatura e salinità, evidenzia la progressiva diluizione delle acque lungo la direttrice Sud-Nord con l'attivazione, nel periodo estivo, di un picnoclino ben sviluppato e conseguente formazione di un doppio strato nella parte più profonda (Fischer et al., 1979).

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro e stato eseguito con contributi CNR n° 92.02116.CT13 e n° 93.01267.CT13.

Si ringraziano i tecnici dell'IMO A. De Alteris ed A. Gallarato per la preziosa collaborazione fornita nelle operazioni sulla laguna.

BIBLIOGRAFIA

AA. VV. 1985. Seminario informativo sui risultati del progetto "Laghi Costieri". Amm. Prov. Latina-Terracina, 30/31: 85pp.

Amanieu, M., P. Legendre, M. Troussellier & G.F. Frisoni.1989. Le programme Ecothau: théorie écologique et base de la modélisation. *Oceanologica Acta,* 12/3: 189-199.

Carrada, G.C., F. Cicogna & E. Fresi. 1988. Le lagune costiere: ricerca e gestione. CLEMPubbl.:250pp.

Fischer, H.B., E.J. List, R.C.Y. Koh, J. Imberger & N.H. Brooks. 1979. Mixing in inland and coastal waters. Academic Press: 483 pp.

Iannibelli, M., D. Levi & G. Spezie. 1988. Effects of meteomarine parameteres on Fish fry migration in the Lake Fusaro (Naples): first results. *Rapp. Comm. int. Mer Medit.,* 31/2: 275.

Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoon processes. Elsevier Oceanography Series, 60: 577 pp.

La Mura, V. & G. Spezie. 1992. Correlations between hydrodynamical parameters and catches of migrating fry (LAKE FUSARO, Naples). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 33: 97.

Millet, B. 1989. Fonctionnement hydrodynamique du bassin de Thau. Validation écologique d'un modèle numérique de circulation (Programme Ecothau). *Oceanologica Acta,* 12/1:37-46.

Saggiomo, V., G. Catalano & M. Ribera d'Alcala. 1990. Ossigeno disciolto. In: Metodi nell'ecologia del plancton marino (Innamorati, M., I. Ferrari, D. Marino & M. Ribera d'Alcala. eds.), *Nova Thalassia,* 11: 91-101.

Unesco. 1980. Coastal lagoon survey. *UNESCO technical papers in marine science,* 31: 280 pp.

Unesco. 1981. Coastal Lagoons Research, present and future. *UNESCO technical papers in marine science,* 33: 347 pp.

Atti dell'11° Congresso del/'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 603 - 613

MEIOFAUNAL PRODUCTION IN SUBTIDAL SEDIMENTS OF THE LIGURIAN SEA: POTENTIAL CONTRIBUTION OF BACTERIA AND MICROPHYTOBENTHOS TO THE FOOD DEMAND

Roberto DANOVARO and Mauro FABIANO

Cattedra di Ecologia, Facoltà di Scienze, Università di Ancona,
Via Brecce Bianche, Monte D'Ago, 60131, Ancona.

RIASSUNTO

E' stata stimata la produzione secondaria di una comunità meiobentonica in un area subtidale del Golfo Marconi, Mar Ligure (Mediterraneo Nord Occidentale) nel periodo compreso tra il Gennaio 1991 ed il Gennaio 1992. La produzione meiobentonica totale e stata calcolata con 1'uso di diversi metodi: la somma di incrementi di biomassa (Arntz, 1971); il rapporto Produzione/Biomassa (P/B=9; P/B=10, McIntyre, 1964); e due metodi che utilizzano un rapporto P/B differenziato per taxa (Lasserre et al., 1976; Warwick et al., 1979). I valori di produzione secondaria stimati erano: 5,23 (metodo della produzione minima), 15,44 (con P/B = 9), 17,15 (con P/B = 10), 17,95 e 13,83 gC m^{-2} $anno^{-1}$ (con i valori P/B proposti da Lasserre et al., 1976 e Warwick et al., 1979 rispettivamente). I nematodi sono risultati responsabili per il 62 % della produzione meiobentonica totale, seguiti da policheti e turbellari (insieme 18,9 %) e copepodi (15,7 %). Nonostante l'oligotrofia dell'area, caratterizzata da basse concentrazioni di carbonio e clorofilla, i valori di produzione meiobentonica appaiono notevolmente elevati e spesso superiori ai valori riportati in aree molto produttive. La produzione microfitobentonica appariva notevolmente ridotta (15,1 gC m^{-2} $anno^{-1}$). Al contrario la produzione secondaria batterica ottenuta con due diversi metodi indiretti era elevata (118,9 gC m^{-2} $anno^{-1}$). I batteri costituivano la fonte principale delle risorse alimentari potenzialmente disponibili (in media 88,7 %) mentre il microfitobenthos rappresentava solo l'11,3 %. Questi dati suggeriscono che i batteri possono svolgere un ruolo determinante quale fonte alimentare per la meiofauna. Stime del fabbisogno energetico della meiofauna indicano che la produzione batterica può supportare gli alti valori di produzione meiobentonica osservati.

ABSTRACT

Secondary production of a meiofaunal assemblage was estimated in the subtidal sediments of the Golfo Marconi, Ligurian Sea (North-Western Mediterranean), from January 1991 to January 1992. Total meiofaunal production was estimated using different methods: the method of the minimal production, Arntz (1971); the Production/Biomass ratios (P/B=9; P/B=10, McIntyre, 1964) based on annual biomass

mean; two methods based on different P/B ratios for different taxa (Lasserre et al., 1976, and Warwick et al., 1979). Production estimates were respectively 5,23 (method of minimal production); 15,44 (using a P/B=9), 17,15 (P/B=10), 17,95 and 13,83 gC m^{-2} yr^{-1} using the P/B ratios proposed by Lasserre et al., (1976) and Warwick et al. (1979) respectively. Nematodes were responsible for about 62 % of total meiofaunal production, followed by polychaetes and turbellarians (together 18,9 %) and copepods (15,7 %). These production estimates appear high, when compared to highly productive areas, despite the oligotrophy of the environment. Sediments, indeed, were characterized by low organic carbon content and microphytobenthic production (15,13 gC m^{-2} yr^{-1}). By contrast, bacterial production was high (118,9 gC m^{-2} yr^{-1}). Bacteria accounted for most of the potential food resources (on average 88,7 %) whereas microphytobenthic production accounted only for 11,3%. These data suggest that bacteria play a major role as potential food source for meiofauna. Estimates of meiofaunal energetic demand indicated that bacterial and microphytobenthic production may support the high meiofaunal production values observed.

1. INTRODUCTION

Secondary production continues to be a fundamental topic for marine ecological research. Meiofauna, despite a small biomass as compared to macrofauna, plays an important role in benthic ecosystem due to a high metabolic activity and turnover. However, the importance of meiofauna in energy flows of benthos is still based on little evidence (Feller & Warwick, 1988), and information on secondary production of total meiobenthos in the Mediterranean is practically non-existent.

This is only partially surprising because, due to methodological problems, very few life histories of meiofaunal species are known (Heip et al., 1985) and reliable general production estimates appear to be a difficult task. Attempts to estimate meiofaunal production have been performed using indirect methods of population turnover rates (P/B). The validity of indirect methods is always questionable since they are based on extension to the entire population of P/B ratios from few species (Warwick, 1980). P/B ratios, indeed, are highly variable, with values ranging from 4 to 63 (on 6 nematode species, Vranken et al., 1986) and it is not easy to establish a P/B valid for the entire community (Vranken & Heip, 1986).

On the other hand, field production measurements require frequent samplings and provide quantitative information on the minimal production (Arntz, 1971) which does not take into account mortality and predatory pressure.

Bacteria and diatoms may represent the major available food sources for meiofauna. Nevertheless, few attempts have been carried out to estimate the bacterial and microphytobenthos contribution to their energetic demand (Bouvy, 1988) and the role of these components in the diet of meiofauna is still an open question (Chardy & Dauvin, 1992).

The aim of the present study was to estimate the role of meiobenthos in a subtidal station of the Ligurian Sea. Meiofaunal biomass and production were estimated using different methods and compared to the information available in literature.

In addition, gross estimates of microphytobenthic and bacterial productions were gathered to assess their potential contribution to the energy requirements of meiobenthos.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area and sampling

This study was carried out from January 1991 to January 1992 at 10 m depth in the Golfo Marconi, Ligurian Sea (N-W Mediterranean, Fig. 1). Station location has been previously described by Danovaro et al. (1994). Sediment samples were collected fortnightly from March to June and monthly during the rest of the year by SCUBA divers.

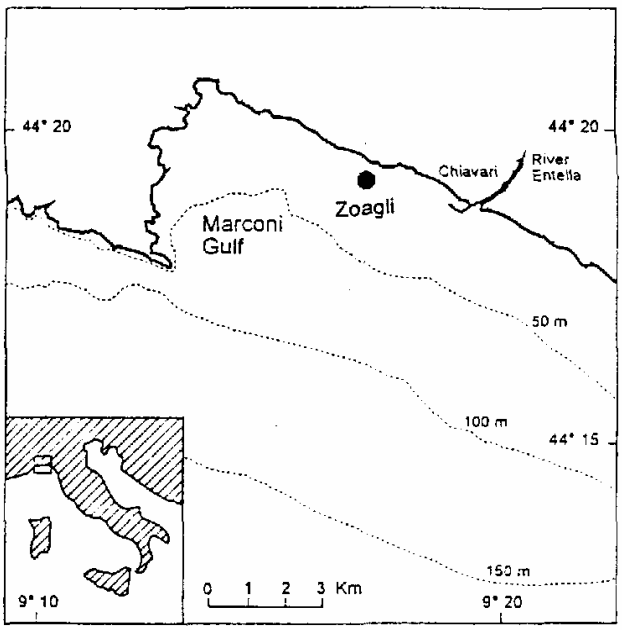


Fig. 1 - Sampling area and station location.

Meiofauna was collected in replicate (n=3-4) cores (i.d. 3,7 cm, 10,7 cm^2 surface area) down to a depth of 12 cm (which resulted to be adequate for quantitative analysis, Danovaro, 1993). The surface layer (0-2 cm) of three additional cores was used for the analysis of organic carbon and chlorophyll *a*. The area has been extensively investigated in the last ten year. The results dealing with meiofaunal abundance and community structure as well as the benthic environment (temperature, salinity, grain size, porosity organic carbon and nitrogen) have been reported in Danovaro et al., (1994, 1995a and 1995b). Data on chlorophyll *a* concentrations (Fabiano et al., 1995), seasonal changes in bacterial biomass and sediment organic carbon (Danovaro, 1993) are summarized in Table 1.

2.2. Meiofaunal biomass and production

Samples were fixed with hot (60°C), 4 % formaldehyde in 0,4 µm prefiltered seawater solution. Sediments were sieved through 1000 and 37 um mesh. The fraction remaining on the 37 µm sieve was centrifugated three times in Ludox TM (density 1,18 g cm^{-3}) in order to separate the lighter organisms from the heavier sediment grains (Heip et al., 1985). All meiobenthic animals were counted and classified under a stereo microscope after staining with Rose Bengal (0,5 g l^{-1}). Body volume of meiofaunal organisms was derived from measurements of body length and width. For nematodes, body volume was calculated using the Andrassy's formula $V=L(W/2)^2 \pi/10^6$, where V is the volume in nanoliters, L is the length and W is the width at the middle of the

esophagus (L and W are expressed in µm). The conversion factors for copepods and for the other meiofaunal taxa are reported by Warwick & Gee (1984) and Feller & Warwick (1988).

Tab. 1 - Organic carbon (OC), Chlorophyll a, Bacterial Biomass (BBM) and meiofaunal biomass in the Golfo Marconi during 1991-1992 study period.

Sampling Date	OC 0-2 cm µg g^{-1}	Chlorophyll a 0-4 cm µg g^{-1}	BBM 0-2 cm µgC g^{-1}	MBM 0-12 cm mgC m^{-2}
17.01.91	1,92	2,14	4,31	865,9
20.02.91	1,99	2,28	2,57	578,5
21.03.91	1,78	2,34	1,09	555,1
08.04.91	2,17	2,39	3,01	1156,1
22.04.91	2,21	3,29	11,94	1814,6
08.05.91	1,72	2,63	3,22	1739,1
29.05.91	1,92	2,63	3,81	3119,5
28.06.91	1,69	2,37	7,43	2088,1
18.07.91	1,75	3,96	5,51	3616,7
01.08.91	1,62	3,32	14,89	4561,3
05.09.91	1,76	3,50	22,04	3189,3
31.10.91	1,62	3,68	88,00	859,6
31.11.91	1,72	2,63	42,02	625,6
23.12.91	2,29	3,67	9,45	983,4
07.01.92	1,73	3,72	3,22	851,4

Annual meiofaunal production has been calculated using different methods in order to compare our production estimates to those available from literature. Meiofaunal production was estimated using a P/B=9 and 10 (Gerlach, 1971; McIntyre, 1964), a P/B fractionated for different taxa (Warwick et al., 1979) and assuming a P/B=8,4 for nematodes, 18 for harpacticoids and 5 for anelids and turbellarians. Moreover, the P/B ratio fractionated proposed by Lasserre et al. (1976) was applied; these authors assumed a P/B=9,75 for nematodes, 21 for copepods, 11,3 for turbellarians, 9,7 for anelids and 9,12 for other taxa.

Finally, production has been calculated using the increment summation method of Arntz (1971). The latter method, also defined as "minimal production", could underestimate the actual meiobenthic production for the reasons reported in the introduction.

2.3. Estimates of microphytobenthic and bacterial production

Several authors have demonstrated the existence of a close relationship between chlorophyll *a* content and primary production in the sediments. Gross microphytobenthic

production (MP) has been estimated on the basis of the data reported in Table 1 using the equation reported by Bodin et al. (1984):

$$MP\ (gC\ m^{-2}\ y^{-1}) = 5\ \ Chl\ a\ (\mu g\ g^{-1})$$

This method must be considered with caution due to the use of a conversion factor and because gross primary production estimates are based on annual averages.

Bacterial production was estimated by the increment summation methods (Meyer-Reil, 1983) and using the equation reported by Cole et al. (1988):ù

$$Log\ BP = 0{,}64 + 0{,}54\ Log\ TOC + 0{,}516\ LogB$$

where: BP is the bacterial production (gC m^{-2} y^{-1})
TOC is the total organic carbon content (gC m^{-2})
B is the bacterial biomass (gC m^{-2})

Bacterial distribution was assumed to be homogeneous in the top 4 cm of the sediments. Previous investigations revelaed that the number of bacteria in the top 4 cm did not change significantly (unpublished data). Conversion from g of sediment DW to volume was calculated assuming a concentration of 1,8 gDW cm^{-3}.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Meiofaunal production and comparison among different calculation methods

Little information is actually available on meiofaunal production, and data of total meiofaunal production in the Mediterranean are practically non existent. Table 2 shows the production estimates in the Ligurian Sea and in other areas. Meiofaunal production in the Golfo Marconi is high as compared to production estimates reported for highly productive areas. Often comparisons are difficult to make because of the different methods used. However, using the same calculation method we report production estimates 7-8 times higher than those reported by McIntyre (1964) in the North Sea, Ankar & Elmgren (1976) in the Baltic or by Chardy & Dauvin (1992) and Chardy et al. (1993) in the Atlantic.

As far as our estimates are concerned, methodological assumptions (i.e. different P/B ratios utilized) are certainly responsible for some of the differences observed. In particular the lowest estimate 13,83 gC m^{-2} yr^{-1} was obtained using the P/B ratios suggested by Warwick et al. (1979), whereas the highest value, 17,95 gC m^{-2} yr^{-1} was obtained using those reported by Lasserre et al., (1976). In the first estimate the average P/B ratio for the entire community is about 8, whereas using the second method the average P/B ratio is about 10.

On the other hand, the comparison between the data based on P/B ratio and those obtained using the method of Arntz (1971) indicates that meiofaunal production estimates calculated from P/B ratios were significantly higher (up to 3 times) than the minimal production estimate, which is equivalent to a P/B ratio of 3.

Tab. 2 - Meiofaunal production in the Golfo Marconi and different other areas.

Location	Depth (m)	Method	Production gC m^{-2} y^{-1}	Authors
Golfo Marconi, Ligurian Sea	10	Arnzt, 1971	5,23	Present study
		P/B=10	17,15	
		P/B=9	15,44	
		P/B fraz. (°)	13,83	
		P/B fraz. (*)	17,95	
North Sea	Subtidal	P/B=10	2,5-3,8	McIntyre, 1964
Baltic Sea		P/B=10	2,70	Ankar & Elmgren, 1976
Lynher UK		P/B fraz. (°)	13,50	Warwick et al., 1979
North Sea	Subtidal		9,00	Heip et al., 1983
North Sea	117	P/B=2	2,40	Faubel et al., 1983
Wadden Sea	Intertidal		3,60	Witte & Zijlstra, 1984
Brittany	0-10		16,10	Bodin et al., 1984
U.S.A.	10		11,00	Rudnick et al., 1985
Canada	Intertidal		15,70	Schwinghamer et al.,1986
Kerguelen	Intertidal	Arntz, 1971	15,15	Bouvy, 1988
		P/B=9	14,62	
Atlantic	Intertidal	P/B fraz. (*)	6,5-29,4	Escaravange et al., 1989
Atlantic	20	P/B=9	2,52	Chardy & Dauvin, 1992 +
Atlantic	10	P/B=14,6	4,38	Chardy et al., 1993

(°) Warwick et al., 1979;
(*) Lasserre et al., 1976;
(+) Production value not reported by the Authors; data are based on average biomass (0,28 gC m^{-2}).

In our case, if we assume that the production calculated using Warwick's ratios represents the total gross production, whereas the increment summation method provides estimates of the net production, the mortality rate would be equivalent to 63 % of total meiofaunal production.

Recent observations have indicated that meiofauna is subjected to a significant predation pressure and high mortality (Almeit & Scheibel, 1982; Marinelli & Coull, 1987; Sandulli, 1989). Pihl (1985) showed that several dominant fish and crustaceans mainly prey upon meiofauna and calculated that 60 % of the harpacticoids and 90 % of the ostracods are consumed by these predators. On the other hand, Morais & Bodiou (1984) demonstrated that the predatory pressure due to juvenile fish is not significant.

Unfortunely, in this study, we have no direct information dealing with mortality rate and the pressure of predation operated by the potential predators of meiofauna. Therefore, we can not evaluate whether such a difference in the production estimates is due to a very low P/B ratio or to a significant mortality and/or predation. However,

nematodes are generally characterized by high turnover rates (Zaika & Makarova, 1979), and direct estimates of nematode production carried out by Vincx (1989) in the Belgian coasts indicate that several dominant species such as *Sabateria* sp., *Daptonema* sp. and *Ascolaimus* sp. have high P/B ratios (from 14,1 to 31,9). If we consider that most of these species were dominant in the study area (Danovaro, 1993), that nematodes were largely dominant among meiofauna, both in terms of density (75 %) and biomass (62,2 %), and that meiofaunal production increases with increasing temperatures (higher in the Mediterranean than in the North Sea), it is reasonable to hypothesize that the observed differences in meiofaunal production are due to predatory pressure.

For further considerations we will utilize the estimate obtained by the method of Warwick et al. (1979) which is close to the average of the values obtained using the other methods and allows inferences on the contribution of different taxa to the total production.

As reported above, this production value is equivalent or a P/B ratio of 8 (Table 3). This value is in the range of those reported in literature and suggests that such high production values are due to high assimilation efficiency and large biomasses of the meiofaunal assemblages.

Tab. 3 - Relative contribution of different taxa to total meiofaunal production (0-12 cm) calculated using the method of Warwick et al. (1979).

	P/B	Biomass gC m^{-2}	Production gC m^{-2} y^{-1}	Contribution (%)
Nematodes	8,40	1,02	8,57	61,98
Harpacticoid copepods	18,00	0,12	2,18	15,74
Polychates & Turbellarians	5,00	0,52	2,61	18,91
Others	9,12	0,05	0,47	3,37
Total (* calculated)	8,04*	1,72	13,83	

These data also suggest that nematodes were the major meiofaunal producers (about 62 %) of total meiofaunal production, followed by polychaetes and turbellarians (18,9 %) and copepods (15,7 %). The dominance of nematodes, both in terms of biomass and production, provides indication of their importance in the ecology and energy flows of shallow benthic communities of the Mediterranean.

3.2. Energetic demand and potential role of microphytobenthos and bacteria

The energy conversion efficiency of meiofauna is not easy to assess. Warwick et al. (1979) proposed a conversion efficiency of 32,5 % but a value of 10 % has often been used (Bouvy, 1988). Using these factors, it is possible to calculate the annual food requirement of meiobenthos from production values. The energetic demands of meiofauna in the Golfo Marconi are reported in Table 4. Food demand was 26,08 gC m^{-2} yr^{-1} and 84,8 gC m^{-2} yr^{-1} in the top 4 cm of sediments (respectively for 32,5 and 10 % conversion efficiency).

Tab. 4 - Energetic demand of meiobenthos compared to bacterial and microphytobenthic production as potential food sources.

Station		Bacteria	Microphytobenthos	Meiofauna		
		Production gC m^{-2} y^{-1}	Production gC m^{-2} y^{-1}	Food demand* gC m^{-2} y^{-1}	Food demand+ gC m^{-2} y^{-1}	Production gC m^{-2} y^{-1}
Golfo Marconi	(0-4 cm)	118,9	15,1	26,08	84,8	8,48
	(4-8 cm)			9,94	32,3	3,23
	(8-12 cm)			6,72	21,9	2,19
Total	(0-12 cm)			42,55	138,3	13,83

* Food demand estimated assuming a conversion factor of 32,5 %
\+ Food demand estimated assuming a conversion factor of 10 %

Gross primary production estimates for the top 4 cm (from chlorophyll content, Bodin et al., 1984) was 15,13 gC m^{-2} yr^{-1}. This value is 6-20 times lower than values reported for other more productive areas, indicating that the system investigated was highly oligotrophic.

As a result of the low productivity, our primary production estimates are not high enough to support meiofaunal carbon demand.

The contribution of bacterial production to benthic food webs is still poorly known. Applying the increment summation method to the variation of bacterial biomass (Meyer-Reil, 1983), a production of 29,72 gC m^{-2} yr^{-1} cm^{-1} was obtained. Bacterial production estimate calculated according to Cole et al. (1988) was similar: 22,94 gC m^{-2} yr^{-1} cm^{-1}. Bacterial production in the uppermost 4 cm of the sediments was 118,88 gC m^{-2} yr^{-1}. This value, equivalent to 81,4 mgC m^{-2} yr^{-1} cm^{-1}, is in the same order of magnitude as other subtidal ecosystems (Meyer-Reil et al., 1980; Fallon et al., 1983; Van Duyl & Kop, 1990).

The total potential food availability (as sum of bacterial and microphytobenthic biomass) is 134,01 gC m^{-2} yr^{-1}. Benthic bacteria accounted for most of the potential food resources (on average 88,7 %), whereas microphytobenthic production accounted only for 11,3 %.

These values suggest that bacteria could be the main trophic resources for meiobenthic organisms. Since bacterial community showed a relatively low biomass, the high bacterial production values are the result of a high bacterial turn-over rate. Bacterial production can not be supported by primary production; rather it is based on organic detritus. Therefore bacteria may represent a trophic link between organic detritus and benthic organisms.

4. CONCLUSIONS

Meiofaunal production in the Golfo Marconi showed high values (13,83 gC m^{-2} yr^{-1}) equivalent to an annual P/B ratio of 8. These values are partially in contrast with the

general oligotrophy of the environment characterized by low concentrations of organic carbon, and would indicate that meiofaunal assemblages have a high carbon conversion efficiency. Nematodes were responsible for more than 60 % of total meiofaunal production. Bacteria represented the major food source and accounted for 83,7 % of the potential food source for benthic organisms. The analysis of the carbon budget and energetic demand of meiofauna in the study area suggests that this system may be principally based on bacterial production.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are particularly grateful to Professors Magda Vincx (Gent, Belgium); Giancarlo Albertelli and Norberto Della Croce (Genova, Italy) for providing laboratory facilities and for their useful suggestions. This work is part of the doctoral thesis of Roberto Danovaro which was supported by a grant of the *Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica,* Italy.

REFERENCES

Almeit, J. & W. Scheibel. 1982. Benthic harpacticoids as a food for fin. *Mar. Biol.,* 70: 141-147.

Ankar, S. & R. Elmgren. 1976. The benthic macro- and meiofauna of the Asko-Landsort area (Northern Baltic Proper). A Stratified random sampling survey. *Contributions of the Asko Laboratory, University of Stockholm.* Volume 11, 115 pp.

Arntz, W.E. 1971. Biomasse und production des makrobenthos in den tierferen Teilen der Kieler Bucht im Jahr 1968. *Kiel. Meersforsch.,* 27: 36-72.

Bodin, P., D. Boucher, J. Guillou & M. Guillou. 1984. The trophic system of the benthic communities in the bay of Douarnenez (Brittany). In: Proceeding of the 19th E.M.B.S., (P.E. Gibb Ed.): 361-370.

Bouvy, M. 1988. Contribution of the bacterial and microphytobenthic microflora in the energetic demand of the meiobenthos in an intertidal muddy sediment (Kerguelen Archipelago). *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol,* 9: 109-122

Chardy, P. & J.C. Dauvin. 1992. Carbon flows in a subtidal fine sand community from the western English Channel: a simulation analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 81: 147-161.

Chardy, P., P. Gros, H. Mercier & Y. Monbet. 1993. Benthic carbon budget for the Bay of Saint Brieuc (Western Channel). Application of inverse method. *Oceanol. Acta,* 16: 687-694.

Cole, J.J., S. Findlay & M.L. Pace. 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystem: a cross-system overview. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 43: 1-10.

Danovaro, R. 1993. Analisi della dinamica e della struttura trofica di comunità meiobentoniche in relazione al contenuto ed alla composizione della sostanza organica particellata. *Tesi di Dottorato, Universita di Pisa,* 256 pp.

Danovaro, R., M. Fabiano & M. Vincx. 1995a. Meiofaunal response to the *Agip Abruzzo* oil spill in the subtidal sediments of the Ligurian Sea. *Mar. Poll. Bull.,* 30: 133-145.

Danovaro, R., S. Fraschetti, A. Belgrano, M. Vincx, M. Fabiano, M. Curini Galletti, G. Albertelli & M. Fabiano. 1995b. The potential impact of meiofauna on the recruitment of macrobenthos in a subtidal coastal benthic community of the Ligurian Sea (north-western Mediteranean): a field result. In: Ecology of Shallow water Ecosystems, Olsen & Olsen: 115-122.

Danovaro, R., J. Mees & M. Vincx. 1994. Annual dynamics of meiobenthic communities in the Ligurian Sea (North-Western Mediterranean): preliminary results. *Atti X Congr. A.I.O.L.:* 295-305.

Escaravange, V., M.E. Garcia & J. Castel. 1989. The distribution of meiofauna and its contribution to detritic pathway in tidal flats (Arcachon Bay, France). In: Topics in Marine Biology, (J.D. Ros Ed), *Sclent. Mar.,* 53 (2-3): 551-559

Fabiano, M., R. Danovaro & S. Fraschetti. 1995. A three-years time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian sea (northwestern Mediterranean). *Continental Shelf Res.,* 15: 1453-1469.

Fallon, R., S. Newell & C. Hopkinsons. 1983. Bacteria] production in marine sediments: will cell-specific measures agree with whole-system metabolism? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11: 119-127.

Faubel, A., E. Hartwig & H. Thiel. 1983. On the ecology of sublitoral sediments, Fladen Ground, North Sea. I. Meiofauna standing stock and estimation of production. *Meteor Forsh-Ergebnisse,* 36: 35-48.

Feller, R.J. & R.M. Warwick. 1988. Energetics. In: Introduction to the study of meiofauna (R.P. Higgins & H. Thiel Eds). Smithsonian Inst. Press, London: 181-196.

Gerlach, S.A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia* (Berlin), 6: 176-190.

Heip, C., P.M. Herman & M. Vincx. 1983. Variability and productivity of meiobenthos in the Southern Bight of the North Sea. *Proc. Verb. Reun. Int. Explor. Mer.,* 183: 51-56.

Heip C., M. Vincx & G. Vranken. 1985. The ecology of marine nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 23: 399-489.

Lasserre, P., J. Renaud-Mornand & J. Castel. 1976. Metabolic activities of meiofaunal communities in a semi-enclosed lagoon. Possibilities of trophic competition between meiofauna and mugil fish. In: Proceeding 10th European Marine Biology Symposium (G. Persoone & E. Jasper Eds), University Press. Wettener, 2: 393-414.

Marinelli, R.L. & B.E. Coull. 1987. Structural complexity and juvenile fish predation on meiobenthos: an experimental approach. *J. exp. mar. Biol. Ecol.:* 67-81.

Mclntyre, A.D. 1964. Meiobenthos of sublittoral muds. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.,* 44: 665-674.

Meyer-Reil, L.A. 1983. Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow water station in the Western Kiel Bight. II Analysis of benthic bacterial populations. *Mar. Biol,* 77: 247-256.

Meyer-Reil, L.A., M. Bolter, G. Dawson, G. Liebezeit, H. Szwerinski & H. Wolter. 1980. Interrelationships between microbiological and chemical parameters of sandy beach sediments, a summer aspect. *Appl. Environ. Microbiol.,* 39: 797-802.

Morais de L.T. & J.Y. Bodiou. 1984. Predation of meiofauna by juvenile fish in a western Mediteranean flatfish nursery ground. *Mar. Biol.,* 82: 209-215.

Pihl, L. 1985. Food selection and consumption of mobile epibenthic fauna in shallow marine areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 22: 169-179.

Rudnick, D.T., R. Elmgren & J.B. Frithsen. 1985. Meiofaunal prominence and benthic seasonality in a coastal marine ecosystem. *Oecologia* (Berlin), 67: 157-168.

Sandulli, R. 1989. Ruolo del copepodi meiobentonici nella dieta di forme giovanili di alcuni pesci piatti. *Oebalia,* XV: 229-238.

Schwinghamer, P., B. Hargrave, B. Peer. & C.M. Hewkins. 1986. Partitioning of production and respiration among size groups of organisms in an intertidal benthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 31: 131-142.

Van Duyl, F.C. & A.J. Kop. 1990. Seasonal patterns of bacterial production and biomass in intertidal sediments of the western Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 59:249-261.

Vincx, M. 1989. Seasonal fluctuations and production of nematode communities in the Belgian coastal zone of the North Sea. Compte Rendus du Symposium "Invertebrate de Belgique": 57-66.

Vranken, G. & C. Heip. 1986. The productivity of marine nematodes. *Ophelia,* 26: 429-442.

Vranken, G., P.M.J. Herman, M. Vincx & C. Heip. 1986. A re-evaluation of marine nematode productivity. *Hydrobiologia,* 135: 193-196.

Warwick, R.M. 1980. Population dynamics and secondary production of benthos. In: Marine benthic dynamics (K.R. Tenore & B.C. Coull Eds) Univ. South Carolina Press, 1-24.

Warwick, R.M. & J.M. Gee. 1984. Community structure of estuarine meiobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 18:97-111.

Warwick, R.M., I.R. Joint & P.J. Radford. 1979. Secondary production of the benthos in an estuarine environment. In: Ecological processes in coastal environments (Jefferies, R.L. & A.J. Davey Eds), Blackwell. Scientific Publications, Oxford: 429-450.

Witte, J.I.J. & J.J. Zijlstra. 1984. The meiofauna of a tidal flat in the western part of the Wadden Sea and its role in the benthic ecosystem. *Mar. Ecol Prog. Ser.,* 14: 129-138.

Zaika, V.E. & N.P. Makarova. 1979. Specific production of free-living marine nematodes. Mar. *Ecol. Prog. Set:,* 1: 153-158.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 615 - 624

HYDROLOGICAL AND CHEMICAL FIELDS IN THE SARDINIA-SICILY OPENING, SOUTHERN TYRRHENIAN SEA

Rajesh NAIR[1], Ferdinando DELL'AMICO[2], Giorgio ROSSI[3],
Stefano ALIANI[2], Gaia DI ROSA[3], Gilda DI MARTINO[3],
Massimo MORGIGNI[3] and Gian Pietro GASPARINI[2]

[1]Via di Birano n. 19, 19100 La Spezia
[2]CNR, Stazione Oceanografica, Forte Santa Teresa, 19036 Pozzuolo di Lerici (SP)
[3]ENEA, Centra Ricerche Ambiente Marino, C.P. 316, 19100 La Spezia

RIASSUNTO

La struttura della colonna d'acqua nella sezione di mare tra Sardegna e Sicilia è stata studiata a partire da misure chimico-fisiche ottenute nel corso di una campagna oceanografica nel Mar Tirreno meridionale effettuata nel maggio 1994. Nello strato superficiale (0-200 m) è presente una zona frontale a cui e associata una risalita di nutrienti. Nello strato intermedio il confronto fra 1'acqua entrante e quella uscente dal bacino indica un arricchimento della concentrazione del nutrienti nel passaggio all'interno del bacino stesso. Le caratteristiche delle masse d'acqua degli strati più profondi indicano che vicino alla Sicilia e presente un tipo di acqua, probabilmente di origine ionica, con la stessa salinità dell'acqua intermedia, ma con una temperatura più bassa. Viceversa, nella parte centrale della sezione, 1'acqua entrante, situata a sud-est, risulta più fredda e meno salata di quella uscente, situata a nord-ovest. La differenza di concentrazione di nutrienti fra le acque entranti e le acque uscenti sembra indicare, anche per le acque profonde, lo stesso arricchimento osservato nelle acque intermedie.

ABSTRACT

Hydrological measurements and nutrient data, from a cruise in the southern Tyrrhenian Sea in May, 1994, were utilized to investigate the water-column structure in the Sardinia-Sicily opening. A well-developed front, caused by the difference in salinity between the inflowing and outflowing Modified Atlantic Water (MAW), is present near the surface (0-200 m). The dynamics associated with this front cause an upwelling of nutrients into the surface layer. The Levantine Intermediate Water (LIW), during its passage in the Tyrrhenian basin, is slightly enriched in nutrients. Below the intermediate level, different water masses were distinguished. Near Sicily, a salty and cold water, probably of ionian origin, flows into the Tyrrhenian basin. In the deep chasm of the opening, the water is slightly colder and less saline in the southeast than in the northwest where nutrient concentrations are somewhat higher. As in the case of the LIW, an increase in the nutrient concentrations of the outflowing Deep Water is inferred.

1. INTRODUCTION

The semi-enclosed Tyrrhenian Sea communicates with the remaining of the Western Mediterranean through the Corsica Channel in the north and the opening between Sardinia and Sicily in the south. The southern opening (Fig. 1) is, by far, the more important passage because of its greater size and its vicinity to the Sicily Channel where water is exchanged between the eastern and the western Mediterranean basins.

Bethoux (1980) estimates that about one-third of the Modified Atlantic Water (MAW) moving towards the Eastern Mediterranean crosses into the Tyrrhenian Sea through the Sardinia-Sicily opening near Sicily, and flows northwards. Some of it subsequently escapes into the Ligurian Sea through the Corsica Channel (Astraldi & Gasparini, 1992) but the major portion leaves through the same opening after circulating more or less cyclonically inside the Tyrrhenian basin.

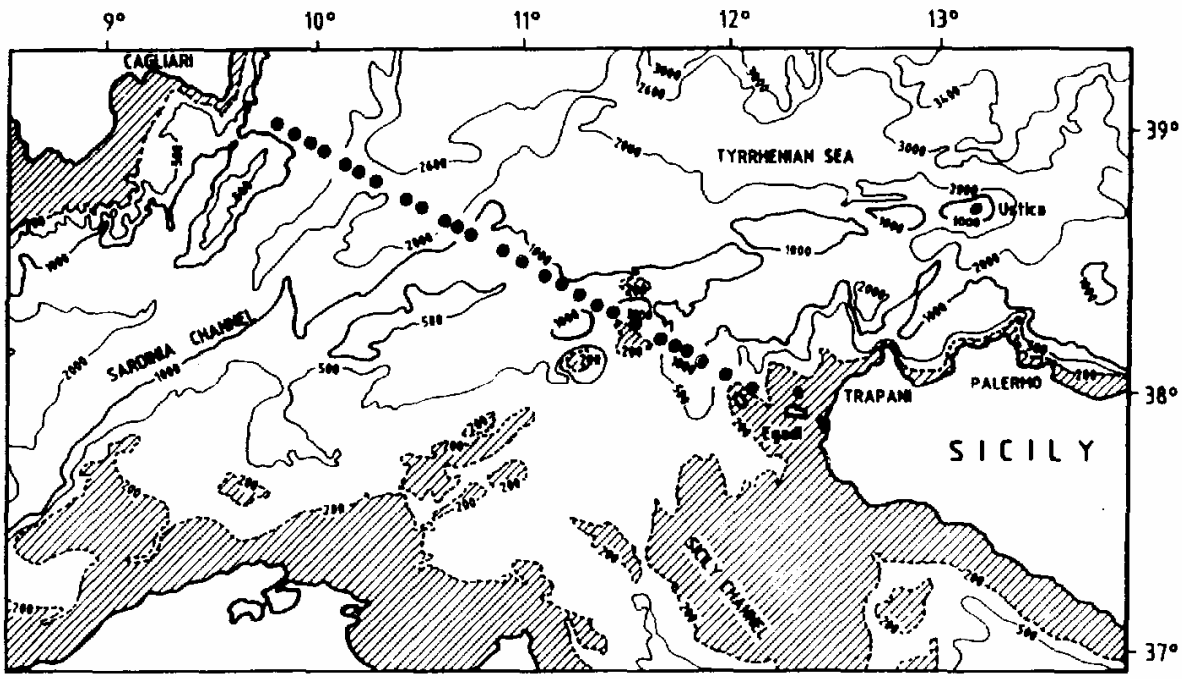


Fig. 1 - Locations of the hydrological stations in the Sardinia-Sicily opening.

The greater part of the Levantine Intermediate Water (LIW) that passes from the Eastern to the Western Mediterranean through the Sicily Channel moves into the Tyrrhenian Sea around the western tip of Sicily. Its general path within the Tyrrhenian basin is mainly cyclonic. In the north, some LIW enters the Ligurian Sea through the Corsica Channel, but the major portion continues south and leaves through the Sardinia-Sicily opening. The nutrient content of the LIW is higher than that of the MAW which is quite low (Cruzado, 1985). On the other hand, the MAW, being a surface water mass, is more oxygenated than the LIW which lies beneath it.

Below the LIW lies the Deep Water (DW). The exchange of DW between the Tyrrhenian Sea and the rest of the Western Mediterranean takes place through the Sardinia-Sicily opening and is limited, to a great extent by the topography. Information regarding the DW is scarce and its circulation remains still unclear.

In May, 1994, the Stazione Oceanografica - CNR (La Spezia, Italy) carried out an oceanographic cruise in the Sicily Channel and the southern Tyrrhenian Sea as part of the PRIMO program. During the cruise, salinity, temperature, dissolved oxygen and certain specific nutrients were measured at a number of hydrological stations. In the Sardinia-Sicily opening (Fig. 1), the acquired data allowed the characterization of different water types. The identities of some of these water types have been established on the basis of the known circulation of the southern Tyrrhenian Sea. The relationship between the circulation and the observed vertical distributions of the measured properties in the Sardinia-Sicily opening has been investigated.

2. METHODS

In all the hydrological stations, continuous vertical profiles of conductivity, temperature, pressure and dissolved oxygen (DO) were obtained from the surface to the bottom by means of a Neil Brown Mark III CTD/O_2 probe. At some of the stations, water samples were collected from standard depths (0 m, 25 m, 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1000 m, 1500 m and near the bottom) using a General Oceanics rosette equipped with twelve 1.7 1 Niskin sampling bottles. The probe and the rosette were utilized simultaneously. Nutrient samples were stored at -20°C and, at the end of the cruise, transported frozen to the laboratory where they were analyzed within one month. No filtration was employed and the analyses were performed on a Technicon Auto-Analyzer II. Phosphate ($P\text{-}HPO_4^{2-}$) was estimated by the method based on the formation of a phosphomolybdate complex (Grasshoff et al., 1983; Murphy & Riley, 1962). Nitrate ($N\text{-}NO_3^-$) was quantified by subtracting the nitrite present in the samples from the amounts of nitrate detected in the same samples after they were passed through a Cu-Cd reducing column. The method applied for the required nitrite ($N\text{-}NO_2^-$) determinations was the one involving diazotization (Standard Methods, 1971). Silicate (Si-Si(OH)4) was measured as a silicomolybdic acid complex after their reaction with a molybdate solution (Grasshoff et al., 1983). Standard errors for the different analyses are + 0.02 (μMl^{-1} for phosphate, + 0.1 μMl^{-1} for nitrate and ± 0.1 μMl^{-1} for silicate.

3. RESULTS

In the southeast, the sea-bottom rises up to 200 m below the surface and then falls again to more than 1000 m near Sicily (see Fig. 1). This bottom feature effectively separates the section into two parts below 200 m. It was decided to utilize this natural division in order to facilitate the presentation of the results. The part of the section lying to the southeast of the bottom uprising will henceforth be called the Sicilian side. The remaining portion has been designated as the Sardinian side.

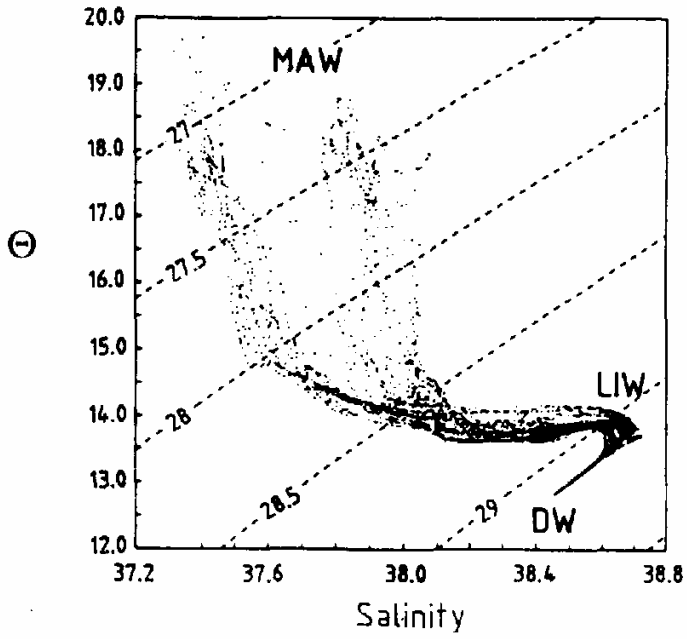


Fig. 2 - Cumulative Θ-S plot

3.1. Hydrology of the surface layer

The MAW entering the Tyrrhenian Sea is slightly less saline than the MAW leaving it (Astraldi & Gasparini, 1995). This increase in salinity is clearly evident when potential temperature and salinity data from all the stations are plotted against each other as in fig. 2. Fig. 3 shows the vertical distribution of salinity between 0 and 200 m. It can be seen that there are stations where the surface water is less saline. These stations are found near Sicily and can be associated with the inflowing MAW. Towards Sardinia, more saline surface water is found. Marked surface salinity gradients evidence a front between the inflow and outflow roughly in the middle of the section. The uplifting of isohalines close to the maximum surface salinity gradient indicates a related upwelling (Simpson et al., 1978).

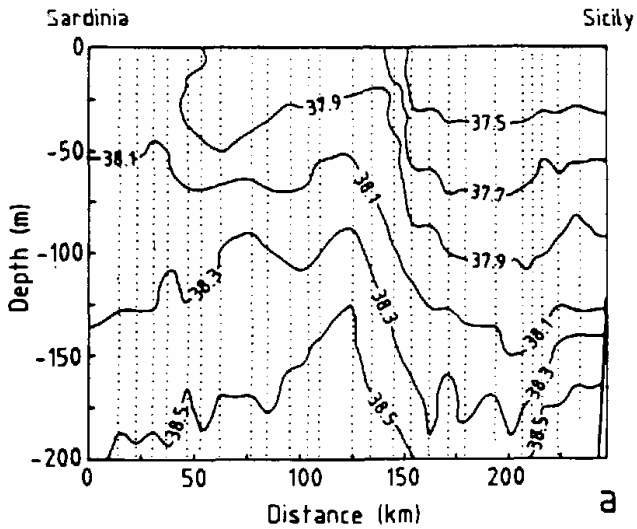


Fig. 3 - Vertical distribution of salinity as psu between 0 and 200 m

3.2. Hydrology of the intermediate and deep layer

Sicilian side - The high salinities visible between 250 and 600 m (Fig. 4b) belong to the inflowing LIW (Hopkins, 1985), but the maximum of salinity (3=38.71 psu) is observed close to the bottom. This salty bottom water is colder (Fig. 4a) and denser than the LIW. On the basis of its hydrographic characteristics, this water seems to be ionian water, lying immediately below the intermediate layer (Guibout, 1987). An intrusive vein, characterized by a lower salinity and temperature (0=13.47 °C and 8=38.62 psu) is also present.

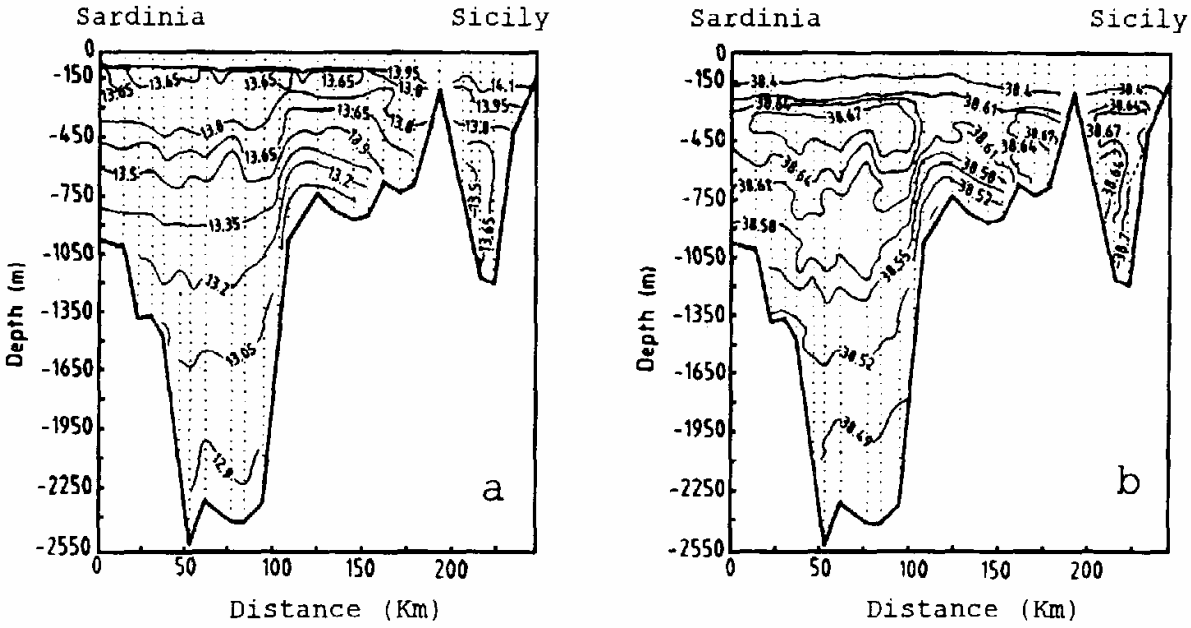


Fig. 4 - (a) θ as °C and (b) salinity as psu between the surface and the bottom.

Sardinian side - According to Krivosheya & Ovchinnikov (1973), the LIW, after following a cyclonic route inside the Tyrrhenian basin, exits through the Sardinia-Sicily opening, a little to the northwest of where it enters. The salinity maxima (S=38.68 psu) on the Sardinian side can, therefore, be attributed to the core of this outflowing LIW (Fig. 4b). The larger of these maxima is visible over the deep chasm in the northwest and the smaller one is found along the bottom uprising that separates the Sardinian side from the Sicilian one. Below the LIW outflow, both potential temperature and salinity decrease with increasing depth (Fig. 4, a and b). Along the southeast slope of the deep chasm, a near-bottom core of low salinity, low temperature water can be seen. Within the chasm, which constitutes the deepest part of the whole section, the behaviour of the isohalines and isotherms suggests that, at comparable depths, the water is slightly colder and less saline in the southeast than in the northwest.

3.3. Nutrient distributions

Nutrient concentrations in the first 50 m are very low all along the section; generally, P-HPO_4^{2} < 0.1 μMl^{-1}, N-NO_3^{-} < 1 μMl^{-1} and Si-$Si(OH)_4$ < 1 μMl^{-1}. The behaviour of the nutrient isopleths indicate an upwelling of nutrients from below 200 m towards the surface in the middle of the section, close to the surface salinity front (Fig. 5, a-c). There are no significant differences between the inflowing water, close to Sicily, and the outflowing water, close to Sardinia.

On the other hand, the nutrient distributions in the intermediate and deep layers indicate a clear difference between the inflow (Sicilian side) and the outflow area (Sardinian side).

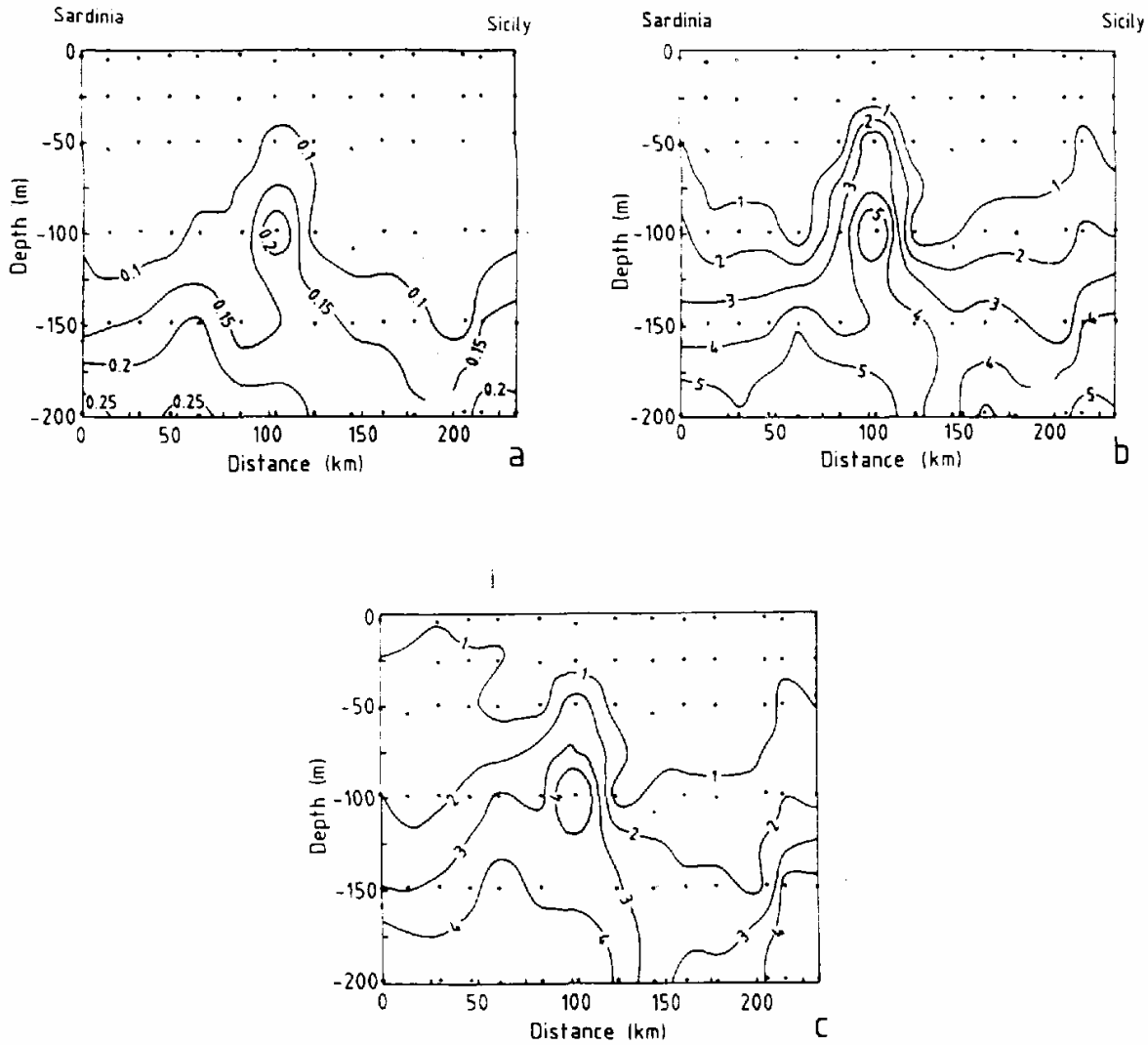


Fig. 5 - Vertical distributions of (a) phosphates, (b) nitrates, and (c) silicates as μMl^{-1} between 0 and 200 m.

Sicilian side - Nutrients increase down to the depth range of the inflowing LIW and then seem to decrease slightly (Fig. 6, a-c). The highest nutrient concentrations are hence associated with the inflowing LIW. As no nutrient samples were collected from below 800 m, information regarding the nutrient characteristics of the bottom water is lacking.

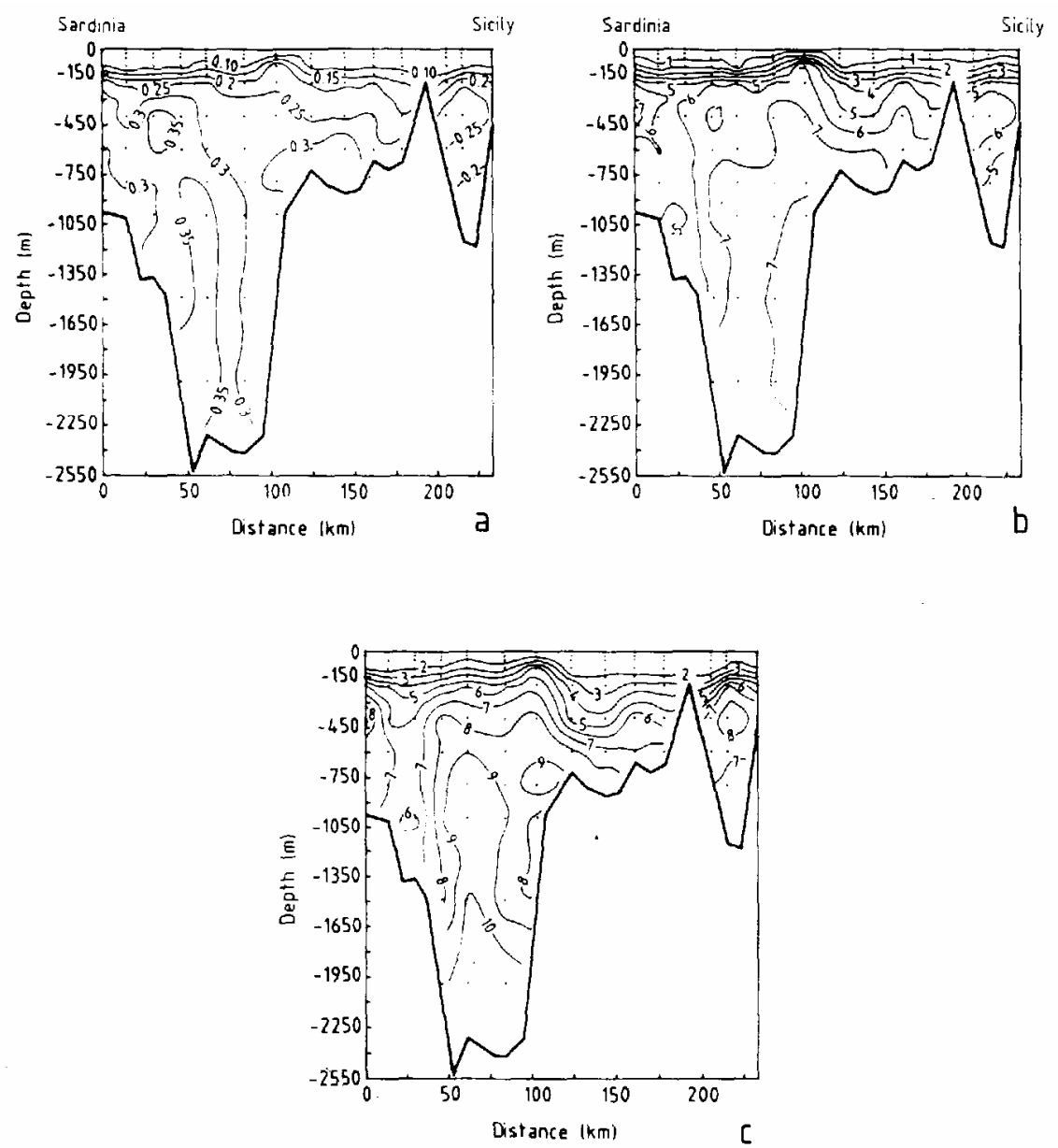


Fig. 6 - Vertical distributions of (a) phosphates, (b) nitrates and (c) silicates as μMl^{-1} between the surface and the bottom.

Sardinian side - A core of high phosphate (0.37 μMl^{-1}) and nitrate (7.5 μMl^{-1}) is visible over the deep chasm in the northwest between 250 and 600 m, the depth range of the outflowing LIW (Fig. 6, a and b). In the same depth range, silicate shows a regular downward increase and presents a more or less stratified distribution (Fig. 6c). Northwest of the chasm, close to

Sardinia, a core of low phosphate (0.27 μMl^{-1}), nitrate (4.5 μMl^{-1}) and silicate (5.5 μMl^{-1}) can be seen near the bottom (Fig. 6, b and c). The salinity distribution (Fig. 4b) indicates that the bottom water here is slightly less saline than the water at a comparable depth over the chasm. In correspondence to the greatest depths, sharp vertical fronts in the nitrate and silicate distributions (Fig. 6, b and c) indicate that the low nitrate and silicate core belongs to a distinct vein of water, confirming the temperature and salinity distribution (Fig. 4a and b). Within the chasm (the deepest part of the whole section), a vertically-elongated core of high phosphate (0.37 μMl^{-1}) is present in the northwest (Fig. 6a). Silicate increases with depth but its isopleths display an accentuated doming (Fig. 6c) that corresponds roughly with the high-phosphate core. Nitrate presents an almost homogeneous distribution (Fig. 6b). Southeast of the deep chasm, a core of high phosphate (0.32 μMl^{-1}) is visible near the bottom (Fig. 6a). A small core of high silicate (9.5 μMl^{-1}) can also be seen (Fig. 6c).

4. DISCUSSION

The MAW inflow and outflow, evidenced clearly by the hydrology in the surface layer of the Sardinia-Sicily section, is consistent with the Tyrrhenian surface circulation predicted by Krivosheya & Ovchinnikov (1973) and Krivosheya (1983) on the basis of geostrophic flows. The dynamics related to the surface front, which is caused primarily by the salinity difference between the entering and exiting MAW, increases the transfer of nutrients into the euphotic layer. This increase in nutrient availability should lead to an enhancement of the local fertility (ALMOFRONT Group, 1990).

Near Sicily, the LIW entering the Tyrrhenian basin shows the highest nutrient concentrations. Below the LIW inflow, nutrients decrease slightly. There is a continuity of thermohaline properties from the inflowing LIW to the saltier, colder and denser bottom water at the deepest stations. Historical data (Guibout, 1987) show that this water mass is of Ionian origin.

In the Sardinian side of the section the outflowing LIW indicates small cores of high nitrate and phosphate over the deep chasm. No analogous core of high silicate is present. Instead, silicate continues to increase with depth. This may be because its regeneration is slower than that phosphate or nitrate. Bethoux (1981) deduced a net transport of phosphate from the intermediate to the surface layer in the Tyrrhenian Sea due to mixing between the MAW and the LIW. Such mixing implies similar upward fluxes for nitrate and silicate as well. The LIW, while leaving the Tyrrhenian basin should therefore possess lower concentrations of these nutrients. However, the present data demonstrate no such decreases. Instead, the LIW apparently maintains its nitrate and silicate content and undergoes a slight enrichment in phosphate (-0.1 uJVIl"^{1}) inside the Tyrrhenian basin. This constitutes a net increase in the nutrient concentrations of the LIW during its passage through the Tyrrhenian basin. The increase in nutrients has been ascribed to the effects of terrestrial discharges and sinking and remineralization of particles from the surface layer (Bethoux, 1981; Carrada et al., 1990).

The origin and direction of flow of the two cores of water at the edges of the deep chasm in the Sardinian side of the section cannot be established without further investigation. However, their thermohaline and nutrient characteristics suggest an inflow/outflow of sub-surface water, present west of the Sardinian Channel. In the chasm, the phosphate distribution evidences two zones, one with phosphate concentrations slightly lower than the other. The

silicate distribution also presents a similar differentiation, although, in this case, the distinction disappears below about 1900 m. The nitrate distribution too hints at a very slight decrease in concentration to the southeast. Using potential temperature, Wust (1961) deduced a flow of Western Mediterranean Deep Water (WMDW) into and out of the Tyrrhenian Sea across the Sardinia-Sicily aperture. The inflowing water, being younger, should contain lesser nutrients. If this is so, then, on the basis of the nutrient distributions, two adjacent, opposing flows can be inferred in the deep chasm in the Sardinian side of the section. DW flows into the Tyrrhenian Sea to the southeast and there is a corresponding outflow from the basin to the northwest. This differs significantly from the deep circulation suggested by Hopkins (1988), where WMDW enters the Tyrrhenian Sea through the Sardinia-Sicily opening below about 1000 m, up wells and leaves through the same opening between 700 and 1000 m.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was funded by EEC grant MAS2-CT93-0061-GEODYME.

REFERENCES

ALMOFRONT Group. 1990. ALMOFRONT Report #1: Provisional Report of the Initial Planning Meeting at Paris, France - June, 1989. Prepared by L. Prieur, A. Sournia, R.A. Arnone & D.A. Wiesenburg: 58 p.

American Public Health Association. 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th edition, New York: 522 p.

Astraldi, M. & G.P. Gasparini. 1992. The seasonal characteristics of the circulation in the north Mediterranean basin and their relationship with the atmospheric-climatic conditions. *J. Geophys, Res.,* 97(C6): 9531-9540.

Astraldi, M. & G.P. Gasparini. 1995. The Seasonal Characteristics of the Circulation in the Tyrrhenian Sea. In: Seasonal and Interannual Variability of the Western Mediterranean Sea (P.E. La Violette Ed.). Geophysical Union, USA: 115-134.

Bethoux, J.P. 1980. Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. *Oceanol. Acta,* 3(1): 79-88.

Bethoux, J.P. 1981. Le Phosphore et 1'Azote en Mer Méditerranée, Bilans et Fertilité Potentielle. *Marine Chemistry,* 10: 141-158.

Carrada, G.C., M. Ribera d'Alcala & V. Saggiomo. 1990. The pelagic system of the southern Tyrrhenian Sea. Some comments and working hypotheses. Atti del 9° Congresso A.I.O.L., S. Margherita Ligure, 20-23 November, 1990: 151-166.

Cruzado, A. 1985. Chemistry of Mediterranean Waters. In: Western Mediterranean (R. Margalef Ed.). Pergamon Press, UK: 126-147.

Grasshoff, K., M. Ehrhardt & K. Kremling. 1983. Methods of seawater analysis, 2nd edition. Verlag Chemie, Weinheim: 419 p.

Guibout, P. 1987. Atlas hydrologique de la Mediterranee, SHOM (Eds.), IFREMER, Paris: 150 p.

Hopkins, T.S. 1985. Physics of the Sea. In: Western Mediterranean (R. Margalef Ed.). Pergamon Press, UK: 100-125.

Hopkins, T.S. 1988. Recent observations on the intermediate and deep water circulation in the Southern Tyrrhenian Sea. *Oceanol. Acta,* N° Sp.: 41-50.

Krivosheya, V.G. 1983. Water circulation and structure in the Tyrrhenian Sea. *Oceanology,* 23(2): 166-171.

Krivosheya, V.G. & I.M. Ovchinnikov. 1973. Peculiarities of the geostrophic circulation of the waters of the Tyrrhenian Sea. *Oceanology,* 13: 822-827.

Murphy, J. & J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta,* 27: 31-36.

Simpson, J.H., C.M. Alien & N.C.G. Morris. 1978. Fronts on the Continental Shelf. *J. Geophys. Res.,* 83(C9): 4607-4614.

Wust, G. 1961. On the vertical circulation of the Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res.,* 66(10): 3261-3271.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 625 - 635

VARIABILITÀ GENETIC A IN *THEMISTO GAUDICHAUDII* (CRUSTACEA: AMPHIPODA) DELLO STRETTO DI MAGELLANO

Paolo Maria BISOL e Stefania MARCATO

Dipartimento di Biologia, Università di Padova,
Via Trieste 75, 35121 Padova

ABSTRACT

Study concerning the evaluation of the genetic structure and their relationships to the environment were carried out on populations of the amphipod *Themisto gaudichaudii* (Hyperidae), collected in two different areas of the Straits of Magellan during the "Magellan Project" cruise 1990/1991.

The analyses of the level of genetic variability were conducted on acetate of cellulose and starch gel. The enzymes studied were: *APR, ESD, EM, EST, GLY, GOT, GPD, GPT, GPI, MDH, MPI, PGM.* The results reveal a low amount of protein polymorphism: the average heterozigosity over loci observed varies from 0.027 to 0.044.

The lack of heterozygotes and the heterogeneity of genetic frequencies between the samples indicate that in the Magellan Straits there are more breeding populations of *Themisto gaudichaudi.*

The investigations on enzymatic activity of Glucosephosphateisomerase (GPI) phenotypes indicate an high metabolic rate, that may be related with the pelagic life and the carnivorous habit of this species.

1. INTRODUZIONE

Il cono meridionale del Sud America si proietta, da un punto di vista geografico, sulla Penisola Antartica, suggerendo quei contatti che esistevano fine a 20-25 milioni di anni fa, quando i processi di frammentazione del supercontinente Gondwana si sono completati (Dalziel & Elliott, 1971).

Le implicazioni geologiche, oceanografiche, climatiche, e biologiche possono riguardare cosi la evoluzione non solo della regione magellanica ma anche di gran parte dell'emisfero australe e conseguentemente della biosfera.

Dal punto di vista geologico gli studi in area magellanica hanno riguardato la natura, la morfologia delle rocce e la distribuzione del sedimenti mettendo in luce una situazione complessa: per maggiori dettagli si veda il numero speciale del Bollettino di Oceanologia Teorica e Applicata intitolato "Straits of Magellan Project" a cura di A. Brambati(1991).

Dal punto di vista climatico e stato registrato un drastico gradiente, da un clima freddo temperate a Ovest, con indici di umidita anche superiori a +100, verso un clima secco continentale nella parte più orientale (Burgos, 1985).

Lo studio delle relazioni fra le distribuzioni delle specie vegetali e le loro esigenze ecologiche ha individuate, accanto a endemismi, la presenza di specie di origine nordica o con distribuzioni in altre aree originariamente comprese nel supercontinente Gondwana, come 1'attuale Nuova Zelanda (Tretiach et al., 1989).

Ciò richiama il ruolo della area magellanica circa i processi di evoluzione biologica delle specie per gli aspetti biogeografici, per la identificazione dei centri di radiazione, per la ricostruzione delle componenti climatiche e il loro effetto sui fenomeni di colonizzazione e ricolonizzazione (Burckle & Pokras, 1991).

D'altra parte la presenza di taxa con distribuzione anche boreale sottolinea la funzione di ponte svolta da questa regione, e dalle Ande in particolare, nei fenomeni di migrazione delle piante (Nimis, 1989).

In questo contesto lo Stretto di Magellano si rivela un vero e proprio laboratorio naturale per lo studio dei processi di adattamento e di diversificazione genetica sia sul breve che sul lungo periodo.

In uno spazio relativamente ristretto si succedono habitat marini e terrestri notevolmente differenziati, colonizzati da organismi di origine di versa, rappresentanti di flore e di faune gondwaniane e non, la cui analisi può essere di aiuto per chiarire gli effetti dell'isolamento nei processi di differenziamento dei *taxa.*

In questa nota si riportano i risultati di un'indagine sulla distribuzione del polimorfismo genetico in campioni di popolazione dell'anfipode iperide *Themisto gaudichaudii,* raccolto nell'estate australe del 1991, durante la seconda Campagna Oceanografica e Biologica del "Progetto Magellano", che rappresenta la parte del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide dedicata allo studio delle relazioni fra ambienti antartici e subantartici.

2. MATERIALIE METODI

Gli esemplari di *Themisto gauichaudii* sono stati raccolti dal gruppo del Prof. L. Guglielmo con il sistema di pesca dello zooplancton teleguidato denominato EZ-Net BIGNESS.

Si tratta di un sistema di retini la cui chiusura avviene in serie, a seguito di impulsi via cavo dati dal responsabile del sistema, in relazione alle condizioni che l'apparato fornisce attraverso una telecamera e vari sensori ambientali.

Gli esemplari provengono dai prelievi effettuati in corrispondenza della Stazione P2 nel tratto Pacifico dello Stretto di Magellano (20 individui), e della Stazione 17 nel tratto centrale, all'interno del bacino di Bahia Inutil, (37 individui), secondo le modalità indicate nel rapporto sulla campagna Aritartica Estate Australe 1990-91 di Guglielmo et al. (1991).

Per poter procedere successivamente alle analisi delle proteine, i campioni sono stati immediatamente congelati in freezer a -40 °C. Una volta portati in Italia presso il Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova, sono stati conservati a -80°C fino al momento delle analisi.

La ricerca si e articolata in due fasi. Nella prima l'interesse era quello di avere dati sulla variabilità genetica dei due campioni. A tale scopo sono state effettuate delle analisi elettroforetiche su dodici enzimi.

Gli animali erano tagliati, trasversalmente, in due parti con un bisturi. Il segmento anteriore costituito dalla regione cefalica e dal mesosoma veniva rimesso subito in freezer, per ulteriori analisi o verifiche morfologiche. II segmento posteriore era messo in una provetta e trattato per 1' analisi proteica, con 1'aggiunta di una soluzione "estraente", composta da Tris-HCl 0,02 M pH 8,00, colorata con blu di bromofenolo per poter poi seguire il fronte di migrazione. Quindi, con 1'aiuto di un pestello di vetro si frantumava il campione, portando gli enzimi in soluzione.

Dopo centrifugazione con minicentrifuga Beckman tipo "E" a 15.000 giri, per due-tre minuti, si otteneva la separazione del sovranatante, utile per 1'analisi elettroforetica, dall'omogenato.

Per le elettroforesi, le vasche elettrodi e gli alimentatori erano quelli del sistema Sartophor, adatti all'uso di acetato di cellulosa quale supporto.

Dopo una precorsa a 250 V per 5 minuti, si ponevano i campioni proteici sulla striscia di acetato e si avviava 1'analisi vera e propria, portando il voltaggio a 200 V per tempi compresi fra i 30 e i 60 minuti a seconda dell'enzima.

Per gli elettrodi sono stati utilizzati i seguenti tamponi (le quantità sono riferite a 1000 ml d^1 acqua distillata):

Tampone A: Tris/Citrico (pH 7,2) = Tris g 8,30, Acido Citrico g 4,70; Tampone B: Tris/Borico/EDTA (pH 8,6) = Tris g 10, Acido Borico g 3, EDTA g 0,20.

Eventuali scostamenti dal pH voluto, nei tamponi, venivano eliminati con l'aggiunta di quantita variabili di NaOH o di HCl 1 N.

Per le colorazioni sono stati utilizzati le seguenti soluzioni tampone.

Tampone l:Tris/HCl pH 7,4: Tris 0,2 M ml 250,0 HCl 1,0 M ml 41,4 portati a litro con acqua distillata; Tampone 2: Tris/HCl pH 8,0: Tris 0,2 M ml 250,0 HCl 1,0 M ml 26,8, portati a litro con acqua distillata; Tris 0,2 M ml 250,0, HCl 1,0 M ml 5,0, portati a litro con acqua distillata; Tampone 3: Fosfato pH 6,5: Na_2HPO_4 0,2 M ml NaH_2PO_4 0,2 M ml, portati a litro con acqua distillata.

Di seguito si riportano le condizioni di analisi e la composizione delle miscele coloranti messe a punto per ogni enzima.

E' da ricordare che, per ridurre la diffusione delle zone di colorazione, le miscele coloranti erano unite a dell'agar-agar (2% in 50 ml di tampone) precedentemente portato all'ebollizione: con il raffreddamento della mistura si otteneva un gel sul quale si ponevano le strisce di acetato.

Arginlnafosfochinasi (APK): Durata migrazione 50' in tampone A; Colorazione: Tampone 1, Fosfoarginina mg 10, Glucosio mg 50, NADP mg 10, ADP mg 10, $MgCl_2$ mg 30, MTT mg 10, Glucosio-6-fosfato deidrogenasi e Esochinasi unita (u) 10, PMS mg5.

Enzima malico (EMA): Durata migrazione 35' in tampone A; Colorazione: Tampone 2, Malato di Na mg 70, NADP mg 20, MgO_2 mg 30, MTT mg 10, PMS mg5.

Esterasi D (ESTD): Durata migrazione 30' in tampone B; Colorazione: Tampone 3; 1,4-Metil-umbelliferil-acetato mg 4 in 5 ml di acetone, lettura agli UV.

a-Glicerofosfato deidrogenasi (GPD): Durata migrazione 45' in tampone B; Colorazione: Tampone 2, a-Glicerofosfato mg 300, NAD mg 15, MTT mg 10, PMS mg 5, EDTA mg 50.

Glutamtnico Ossalacetico Transaminasi (GOT): Durata migrazione 60' in tampone B; Colorazione: Tampone 1, Ac. L-aspartico mg 200,. Ac. 2-chetoglutarico mg 100, EDTA mg 200, ritamponare a pH 7,4, Polivinilpirrolidone mg 500, Pirridosal-5-fosfato mg 5, Fast Blue BB mg 50.

Glutammico Piruvico Transaminasi (GPT): Durata migrazione 45' in tampone B; Colorazione: Tampone 1, DL-Alanina mg 200, Ac. 2-chetoglutarico mg 100, NADH mg 10, LDH u 10, lettura agli U.V.

Malico deidrogenasi (MDH): Durata migrazione 50' in tampone A; Colorazione: Tampone 2, L-malato di Na mg 75, NAD mg 20, MTT mg 10, PMS mg 5.

Mannosio fosfato isomerasi (MPI): Durata migrazione 45' in tampone B, Colorazione: Tampone 2, Mannosio-6-fosfato mg 40, NADP mg 10, MTT mg 10, Glucosio-6-fosfato deidrogenasi u 10, Glucosio fosfato isomerasi u 20, PMS mg 5.

Fosfogluco mutasi (PGM): Durata migrazione 50' in tampone B, Colorazione: Tampone 2 Glucosio 1-fosfato mg 10, NADP mg 10, MgCl mg 10, MTT mg 10, Glucosio-6-fosfato deidrogenasi u 10, PMS mg 5.

Fosfogluco isomerasi (GPI): Durata migrazione 60' in tampone B, Colorazione: Tampone 2, Fruttosio-6-fosfato mg 10, NADP mg 10, MTT mg 10, Glucosio-6-fosfato deidrogenasi u 10, PMS mg 10.

Per due sistemi enzimatici, *Esterasi* e *Gliceraldeide-3-Fosfato deidrogenasi,* si è reso necessario 1'uso di gel d'amido quale supporto. In questo caso la metodica seguita per la preparazione del gel e quella descritta da Richardson (1986).

Le condizioni di analisi e di colorazione sono state le seguenti:

Esterasi (EST): Durata migrazione 8 h in tampone B; Colorazione: Tampone 3, α-naftil-acetato mg 10, (3-naftil-acetato mg 10, Acetone ml 6, Fast-Blue BB mg 40.

Gliceraldeide-3-Fosfato deidrogenasi (GLY): Durata migrazione 5 h in tampone A; Colorazione: Tampone 1, Fruttosio 1-6 difosfato mg 100, Aldolasi u 100, termostatare a 37°C per 30', si aggiungono quindi Arsenato di sodio mg 150, NAD mg 10, MTT mg 10, PMS mg 5.

L'interpretazione dei *patterns* elettroforetici ha tenuto conto del principio mendeliano di esclusione degli alleli di uno stesso locus, che permette di distinguere tra frazione isoenzimatiche e allozimiche e, ove possibile, della struttura delle singole proteine sulla base delle frazioni colorate che comparivano negli eterozigoti. Gli individui omozigoti presentano infatti una sola banda; gli eterozigoti, qualora la combinazione delle subunità proteiche sia casuale, mostrano due bande se la struttura dell'enzima è monomerica, tre bande quando e un dimero.

Nel caso di frazioni con la stessa mobilita elettroforetica in tutti gli individui, ogni banda era considerata prodotto di singoli loci monomorfi, in accordo con Ayala & Valentine (1974).

Quando per un sistema enzimatico sono stati individuati più loci, il locus con posizione più anodica viene indicate con il numero 1 accanto alla sigla dell'enzima, e quelli che lo seguono, più lenti, con numeri progressivamente aumentati; per gli alleli si sono seguiti gli stessi criteri sostituendo ai numeri le lettere.

Tab. 1 - Livelli di polimorfismo genetico in *T. gaudichaudii* da due località dello Stretto di Magellano: N = Numero medio di individu esaminati per locus; P = Percentuale di loci polimorfi; A = Numero medio di alleli per locus; Hoss = Frequenza media dell'eterozigosi osservata; H_{att} = frequenza media dell'eterozigosi attesa. (In parentesi sono riportati gli errori standard).

	N	P	A	H_{oss}	H_{att}
Stazione P2					
12 loci	18,3	25	1,3	0,033	0,066
	(1,4)		(6,3)	(0,023)	(0,041)
9 loci	17,2	33,3	1,4	0,044	0,088
	(1,5)		(0,2)	(0,031)	(0,054)
Stazione 17					
15 loci	32,8	60	1,7	0,027	0,055
	(1,5)		(1,9)	(0,014)	(0,019)
9 loci	33,7	66,7	1,9	0,036	0,075
	(1,9)		(0,3)	(0,023)	(0,030)

Se si analizzano le frequenze degli eterozigoti, che meno risentono degli errori di campionamento sia per quanto concerne gli individui che i loci, le differenze si riducono, essendo le eterozigosi medie osservate comprese fra un valore minimo di 2,7 nel campione di Stazione 17 riferito a 15 loci e uno massimo di 4,4 nel campione di Stazione P2, relative ai nove loci comuni.

In ogni caso, si tratta di valori indicativi di bassi livelli di eterozigosi media. Lo scostamento dei valori osservati rispetto all'eterozigosi attesa, calcolata assumendo il rispetto dell'ipotesi di equilibrio di Hardy Weinberg, fa ritenere che le popolazioni possiedano una struttura frammentata ovvero possano risentire dell'effetto Wahlund (Crow, 1986).

E' questa una condizione che favorisce variazioni delle frequenze geniche su base casuale. Per verificare questa possibilità, si sono confrontate le distribuzioni delle frequenze geniche con il calcolo dell'indice FST , indice di fissazione che rappresenta la riduzione di eterozigosità di una popolazione a causa della deriva genetica, e quindi si è eseguito il test di chi-quadro di Workman & Niswander (1970).

Nella tabella 2 sono riportati i valori degli indici FST dei loci con frequenze geniche diverse nelle due popolazioni. Le differenze risultano significative per i tre loci, *GLY-1, GOT-1, PGM-1,* e per i dati nel loro complesso: F_{ST} medio risulta uguale a 0,462, P minore a 0,01.

La diversificazione genetica dei due campioni di *Themisto gaudichaudii* risulta anche dalla stima della identità genetica (I) e della distanza genetica (D) secondo Nei (1978): I corrisponde a 0,16 e D a 0,85. Sono valori che che di solito riferiscono di popolazioni che possiedono un certo grado di incompatibilità genetica per 1'azione di meccanismi di isolamento riproduttivo (Ayala, 1983).

Lo studio dell'attività enzimatica del sistema *GPI* e stato condotto sui trentasette esemplari della Stazione 17, dei quali trentuno erano omozigoti per l'allele *GPI-B,* cinque erano eterozigoti GP/-A/B, uno eterozigote GP/-B/C.

Tab. 2 - Valori degli indici F_{ST} dei loci con frequenze geniche diverse nelle due popolazioni e loro significatività all'opportuno test di chi-quadro.

Locus	F_{ST}	P
EM-1	0,004	> 0,40
GLY-1	0,013	< 0,05
GOT-1	0,762	< 0,01
MPI-1	0,018	> 0,20
GPI-1	0,003	> 0,60
PGM-1	0,451	< 0,01
Media	0,462	< 0,01

I valori medi dell'attività specifica, espressi come unita per mg di proteina, sono riportati in tabella 3, senza distinzione delle classi genotipiche, a causa della bassa numerosità degli eterozigoti che non permette un confronto statisticamente valido delle due serie di dati.

Dalle stime dell'attività specifica, ottenute a diverse temperature, si mette in luce una chiara dipendenza dal fattore temperatura: l'attività cresce con l'aumentare della temperatura. L'incremento tuttavia, non e lineare, bensì e maggiore in corrispondenza alla variazione dai 10 ai 15 °C. Fra i 15 e 28 °C l'incremento e minore; prove effettuate a 30 °C non hanno dato nessun risultato.

La scarsa funzionalità a alte temperature emerge anche dalle misure dell'attività residua dopo riscaldamento a 37 °C: nonostante la relativamente bassa temperatura del trattamento l'attività scende al sessanta/quaranta per cento rispetto al controllo.

Sembra quindi che 1'enzima abbia degli *optima* funzionali a valori di temperatura sotto i 15 °C, più vicini alle temperature effettivamente sperimentate dagli animali.

Tab. 3 - Caratterizzazione dell'enzima *GPI* in *T. gaudichaudii*:

A) Attività specifica a diverse temperature

Temperatura in ° C	5	10	15	20	28
u/mg	3,3	3,9	5,2	5,6	6,3
Dev.St.	1,3	1,5	2,9	2,3	2,5

B) Attività residua dopo riscaldamento a 37 °C per tempi diversi

Tempo in minuti	0	10	15	20
% attività residua	100	63,1	54,2	45,2

Per il campione della Stazione P2 i dati si riferiscono a 12 loci *(APK-1, APK-2, ESD-l, ESD-2, EM-1, EST-1, EST-3, GLY-1, GOT-1, MPI-1, GPI-I, PGM-1),* di cui solo 3 risultano polimorfi *(EM-1, PGI-I, PGM-1).*

Per il campione della Stazione 17, forse per il suo migliore stato di conservazione, sono stati ottenuti dati per un numero maggiore di enzimi. Ciò ha portato a classificare 15 loci *(ESD-l, EM-1, EST-1, EST-2, EST-3, GLY-1, GOT-1, GOT-2, MPI-1, PGI-1, PGM-1, MDH-1, MDH-2, GPD-1, GPT-1),* dei quali nove sono risultati polimorfi: *EM-1, GLY-1, GOT-1, MPI-1, GPI-1, PGM-1, MDH-1, MDH-2, GPD-1.*

A causa del diverse numero di loci messi in luce, sono state effettuate due elaborazione dei dati: una per tutti i sistemi che hanno dato risultati, e una limitata ai nove loci comuni. La Tabella 1 riporta il grado di variabilità genetica di *Themisto gaudichaudii* ottenuto applicando le formule proposte da Nei (1987).

La seconda fase si riferisce a prove di tipo biochimico, quali la stima dell'attività specifica e di quella residua dopo riscaldamento limitatamente all'enzima fosfoglucoisomerasi *(GPT)* nei campioni della Stazione 17, mediante tecniche spettrofotometriche.

L'attività enzimatica e stata valutata utilizzando uno specifico kit (Sigma Diagnostics PHI-355B), che ha permessso di avere procedure standardizzate e di ottenere una migliore ripetibilità delle misure. La preparazione dei campioni seguiva le metodiche sopra descritte, avendo cura pero di pesare il frammento del campione da esaminare e quindi di aggiungere 100 µl di tampone Tris/ HCL 0.01 M pH 8 per ogni mg di animale. Per ogni misura si usavano 50 µl di surnatante in 1 ml di miscela reagente; le proteine totali erano valutate secondo il metodo di Lowry et al. (1951).

Le analisi spettofotometriche sono state condotte su apparecchiatura Perkin Helmer, con camera a effetto Pettier per un migliore control lo delle temperatura, ad una lunghezza d'onda di 340 nm. I saggi sono stati effettuati alle temperature di 5, 10, 15, 20, e 28 °C.

Inoltre si e valutata l'attività residua della *GP1* dopo riscaldamento a 37 °C per tempi diversi. A tale scopo, si ponevano tre aliquote del campione preparato come sopra descritto in termostato rispettivamente per 10, 15, 20 minuti, quindi si procedeva a saggiare l'attività specifica allo spettrofotometro, con una temperatura nella cella di 20 °C. In questo modo, i valori di attività specifica a 20 °C dei campioni non trattati diventavano il riferimento per valutare 1'effetto del trattamento termico.

3. RISULTATI

Nell'insieme i risultati non mostrano un andamento coerente, per il fatto che i valori più elevati dei parametri del polimorfismo genetico corripondono all'uno o all'altro dei due campioni, a seconda del gruppo di dati considerate.

Ciò dipende dalle dimensioni dei campioni di popolazioni studiati che, in varia misura, si riflettono sugli indicatori della variabilità genetica. In particolare, le differenze nei numero medio di alleli sono da mettere in relazione cori il numero di individui analizzati: il campione della Stazione 17, rappresentato da più individui, mostra i più alti valori di A. Allo stesso modo il cambiamento della composizione del set di sistemi enzimatici può giustificare alcune delle variazioni osservate.

4. DISCUSSIONE

I risultati ottenuti dallo studio di due popolazioni di *Themisto gaudichaudii* devono essere considerati preliminari per la ridotta numerosità sia dei campioni sia dei loci comuni (nove). Ciò limita il confronto fra le due serie di dati e porta a considerare il loro andamento.

In questa maniera, emergono due elementi di particolare rilevanza: i bassi valori dei parametri della variabilità genetica e i significativi eccessi di omozigoti.

Per quanto riguarda il livello di polimorfismo proteico i campioni di *Themisto* dell'area magellenica si distinguono da quelli raccolti in altri regioni.

Schneppenheim & Weigman-Hass (1986) hanno descritto per *T. gaudichaudii* di origine antartica un eterozigosi media osservata pari a 0,22, corrispondente a un valore, in qualche caso, quasi dieci volte più elevato di quelli trovati da noi.

Alcune delle differenze possono dipendere da fattori tecnici: diverse e il gruppo di enzimi considerati e in qualche caso le metodiche usate hanno portato a mettere in luce, per uno stesso sistema enzimatico, un diverse numero di loci.

Un'altra parziale spiegazione può essere trovata nelle dimensioni dei campioni: *T. gaudichaudii* di area antartica era rappresentato da 1000 individui, mentre il campione magellanico da noi studiato nel complesso e costituito da una cinquantina di individui.

Tuttavia, se si tiene conto dei dati relativi a loci come *GPI, MPI* e *PGM,* per i quali e più semplice il confronto grazie alla minore interferenza di artefatti o delle diverse metodiche applicate, si ha la conferma di un minor polimorfismo genetico nelle popolazioni dello Stretto di Magellano rispetto a quelle antartiche.

La bassa variabilità, messa in relazione con i significativi scostamenti fra eterozigosi osservata e attesa, può divenire un indicatore di fenomeni di inincrocio e più in generale di deriva genetica. Inoltre 1'eccesso di omozigoti in questi organismi pelagici, riscontrato in ognuna delle due popolazioni, può dipendere dall'artificioso rimeseolamento, a seguito delle modalità di pesca, di esemplari rappresentativi di gruppi riproduttivamente distinti e con diversa distribuzione verticale.

Chiarire il ruolo della frammentazione verticale delle popolazioni sarebbe utile anche per riuscire a cogliere i processi di differenziazione del patrimonio genetico fra i campioni di aree diverse. I valori medi degli indici FST risultano piuttosto elevati e in molti casi significativi, e suggeriscono un certo isolamento fra le popolazioni.

Questo dato e in accordo con i valori di identità genetica che risulta bassa per popolazioni geografiche della stessa specie.

Ciò richiama 1'importanza dello Stretto di Magellano quale sede di eventi di speciazione (Battaglia, 1992), e meriterebbe degli approfondimenti con ulteriore indagini.

La sistematica del genere *Themisto* non può infatti essere considerata pienamente definita, alia luce anche del gia citato lavoro di Schneppenheim e Weigmann-Hass, nel quale vengono ridescritte le specie di *Themisto* dell'Oceano Atlantico, confrontando la morfologia e i *patterns* elettroforetici di popolazioni antartiche e subantartiche. I cambiamenti sono molto significativi dato che 1'attribuzione a nuove specie di forme che prima erano identificate come *T. gaudichaudii,* limita *T. gaudichaudii* alle aree australi, facendogli perdere cosi la qualifica di specie bipolare. La mancanza di barriere all'interno della

Convergenza Antartica sembra favorire 1'esistenza di un'unica popolazione interfeconda, dato che i campioni mostrano differen-ze nelle frequenze geniche di scarsa entità.

Nel caso dei campioni magellanici la diversità genetica potrebbe essere messa in relazione con la complessa tipologia ambientale. Al riguardo, la soglia in corrispondenza dell'Isola Carlos III potrebbe favorire la separazione delle popolazioni agendo da barriera geografica. In questo contesto, non si può escludere che i campioni dello Stretto di Magellano rappresentino taxa distinti o nuove specie, morfologicamente poco differenziate, e quindi non facilmente riconoscibili con le tecniche classiche.

Per precisare questi aspetti, saranno di estrema utilità le descrizioni dei reperti che si stanno attuando con uso tecniche di Microscopia Elettronica a Scansione (SEM) da parte del gruppo del Prof. Guglielmo (comunicazione personale).

Al contempo, andrebbe ulteriormente studiato il rapporto fra le variazioni di frequenza genica e le differenti caratteristiche strutturali biotiche e idrobiologiche delle stazioni di raccolta (Antezana et al., 1991; Panella et al., 1991).

Le prove funzionali come le stime dell'attività specifica dell'enzima *GPI* sono state limitate a un solo campione e quindi non permettono di avere ragguagli sulle eventuali differenziazioni fra le popolazioni delle due zone.

Dal confronto con i dati ottenuti per Anfipodi Talitridi di ambiente sopralitorale, si trae 1'indicazione che *T. gaudichaudii* possieda un livello metabolico più elevate. A 20 °C 1'attivita specifica media di varianti di *GPI* risulta pari a 5,6 unita (u) per mg di proteina, mentre e 1,5 u/mg e in *Orchestia mediterranea* e a 2,1 u/mg in *O. montagui* (Marcato et al., 1994).

Per contro, le proteine di *T. gaudichaudii* perdono attività dopo un blando riscaldamento, mentre nelle due specie di talitridi l'attività specifica cala dopo un trattamento alia più elevata temperatura di 47 °C.

Tenuto cento della base genetica dei caratteri studiati, si può ritenere che le differenze osservate abbiano un significato biologico e possano essere messe in relazione con le differenti esigenze ecologiche dei due generi.

In *T. gaudichaudii* il condizionamento delle alte temperature trova una giustificazione nel fatto che e poco probabile che questi organismi sperimentino temperature al di sopra dei quindici gradi, mentre il tasso metabolico più elevato e da mettere in relazione con 1'habitus pelagico e predatore a dieta carnivora della specie. La maggiore attività residua del genere *Orchestia* può rappresentare un adattamento alle forti oscillazioni dei parametri fisici nell'ambiente subareo.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori esprimono il loro più sentito ringraziamento al Prof. Guglielmo e al suo gruppo di lavoro per la disponibilità nel fornire i campioni e per la collaborazione.

Un ringraziamento particolare agli organizzatori e ai partecipanti alla campagna sub-antartica nello Stretto di Magellano.

La ricerca e stata effettuata con fondi del Progetto Magellano, PRNA, Contratto ENEA- Università di Padova.

BIBLIOGRAFIA

Antezana, T., L. Guglielmo & E. Ghirardelli. 1991. Microbasins within the Straits of Magellan affecting zooplankton distribution. In: Oceanografia in Antartide (V.A Gallardo, O. Ferretti & H.I. Moyano Eds.). Atti Seminario Internazionale. Concepciòn, Cile 7-9 Marzo 1991: 453-458.

Ayala, F.J. 1983. Enzymes as Taxonomic Characters. In : Protein polymorphism: adaptive and taxonomic significance (G.S. Oxford & D. Rollinson Eds.). The Systematics Association, Academic Press, London, 24: 3-26.

Ayala, F.J. & J.W. Valentine. 1974. Genetic variability in the cosmopolitan deep-water ophiuran *Ophiumusium lymani. Marine Biology,* 27: 51-57.

Barbieri, F., R. Cervellati & M.C. Ramorino (a cura di). Rapporto sulla campagna Antartica Estate Australe 1990-91. Progetto Antartide, ANT 91/06 Rev. 1.

Battaglia, B. 1992. Mecanismos de diferenciaciòn genetica en regiones subantarticas. In: Oceanografia in Antartide (V.A Gallardo, O. Ferretti & H.I. Moyano Eds.). Atti Seminario Internazionale. Concepciòn, Cile 7-9 Marzo 1991: 439-442.

Brambati, A. (A cura di) 1991. Strait of Magellan Project. Oceanography and Sedimentology. *Bollettino di Oceanologia Teorica edApplicata,* N.S. Vol IX.

Burckle, L.H., & E.M. Pokras. 1991. Implication of a Pliocene standof *Notofagus* (Southern Beech) within 500 kilometres of the South Pole. *Antarctic Science,* 3: 389-403.

Burgos, JJ. 1985. Clima del extremo Sur America. In: Transect Botanica de la Patagonia Austral (O. Boelcke, D.M. Moore & F.A. Roig Eds.). Consejo National de Investigaciònes Cientificas y Tenicas, Insituto de la Patagonia, Royal Society, Buenos Aires: 1-40.

Crow, J.F. 1986. Basic concepts in population, quantitative and evolutionary genetics. W.H.G. Freeman & Co., 273 p.

Dalziel, I.W.D. & D.W. Elliot. 1971. Evolution of the Scotia Arc.Atowre, 233: 246-252.

Guglielmo L., T. Antezana, G. Costanzo & G. Zagani. Zooplankton Communities in the Straits of Magellan. *Memorie di Boll. Mar. e Oceanogr.* 19*:* 157-161.

Lowry, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farr & R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.,* 193: 265-275.

Marcato, S., C. Losso & P.M. Bisol. 1994. Differenziamento genetico in due specie del genere *Orchestia* della Laguna di Venezia. Atti SItE, in stampa.

Nei, M: 1978. Estimation of average heterozigosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics,* 89: 583-590.

Nei, M. 1987. Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press, 513 p.

Nimis, P.L. 1989. Lo stato delle conoscenze lichenologiche sul continente antartico. *Atti I Congresso di Biologia Antartica, Scienza e Cultura,* numero speciale a cura di B. Battaglia, P.M. Bisol & V. Varotto: 5-54.

Pannella, S., A. Michelato & R. Perdicaro. 1991. A preliminary contribution understanding the hydrological characteristics of the Strait of Magellan: Austral Spring. *Memorie di Biologia Marina e di Oceanografia,* N.S., Vol . XIX, n. unico: 65-75.

Richardson, B. J. 1986. Allozyme electrophoresis. Acad. Press, Australia, 410 p.

Schneppenheim, R. & R. Weigmann-Hass. 1986. Morphological and electrophoretic studies of the genus *Themisto* (Amphipoda: Hyperiidea) from the South and the North Atlantic. *Polar Biol,* 6*:* 215-225.

Tretiach, M., D. Lausi & J. Poelt. 1989. Contribution to the ecological phytogeographic of Fuegia (Southern America). *Studia Geobotanica, 9:* 169-180.

Workman, P.L. & J.D. Niswander. 1970. Population studies on south-western Indian tribes. II. Local genetic differentiation in the Papago. *Am. J. Human Genet.,* 22: 24-49.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 637 - 644

MARE DI BARENTS E MARE DI LAPTEV. CONFRONTOIDROBIOLOGICO TRA DUE REGIONI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DELL'OCEANO ARTICO

Anna LUCHETTA[1], Paola PONIZ[2], Gennady ILJIN[3] e Ursula SCHAUER[4]

[1]C.N.R. Istituto Talassografico, Trieste
[2] Dipartimento di Biologia, Università degli Studi, Trieste
[3] Marine Biological Institute, Russian Academy of Science, Murmansk (Russia)
[4] Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven (Germania)

ABSTRACT

The Italian participation in the Study of the European Arctic Shelf programme (SEAS) gave the chance to study again the "inner" eurasian part of Arctic Ocean.

In summer 1993 the multi, interdisciplinary cruise ARK IX-4 in the Barents and Laptev Seas was performed on board of the ice breaker Polarstern.

Two sections in the Barents sea and four in the Laptev sea were run in order to perform climatic, oceanographycal, biological, geological and ice studies.

1. INTRODUZIONE

Lo studio delle tematiche proposte con il programma S.E.A.S. (Rachor, 1992; Luchetta et al., questo volume; Socal et al., questo volume) poté continuare nel corso della campagna ARK IX-4 sulla scarpata continentale dei man di Barents e Laptev nell'estate 1993. La realizzazione della campagna fu possibile grazie all'impiego della nave rompighiaccio "Polarstern", messa a disposizione dall'Alfred Wegener Institut di Bremerhaven (RFG).

La proposta di continuare il lavoro intrapreso nel '91 ci era sembrata particolarmente attraente per la possibilità di raccogliere dati in una parte della vastissima piattaforma continentale russa (Mare di Laptev, Fig. 1) ancora praticamente sconosciuta, perchè inaccessibile alla comunità scientifica occidentale. Ad esempio, gli unici dati di nutrienti pubblicati su riviste non russe, sino all'avvio della campagna, risultavano quelli di Codispoti & Richards del 1968.

La raccolta di questi dati ci avrebbe permesso di continuare sia il lavoro di ricerca sui processi di mesoscala e piccola scala ai margini dell'Oceano Artico, che sui cicli biogeochimici di azoto e carbonio e sui loro flussi dalla zona di piattaforma ai bacini profondi.

Tra gli obiettivi generali della campagna ARK IX-4 (agosto-settembre 1993) era compreso un approccio interdisciplinare allo studio dell'ambiente della piattaforma artica, comprendente l'impiego di *remote sensing* per la copertura del ghiacci, studi climatologici, oceanografici, glaciologici, biologici e geologici (Fuetterer, 1994).

Nell'ambito degli studi oceanografici di mesoscala e piccola scala erano previste: misure di correntometria, di temperatura e di salinità, tramite CTD; determinazioni su tutta la colonna d'acqua della concentrazione di componenti disciolti quali nutrienti, ossigeno, carbonati totali, traccianti, sia antropogenici che naturali, come elio (^{3} He), trizio (^{3}H), ^{14}C, ^{18}O, freon (CF_{11}, CF_{12}) e CCl_4, radionuclidi e metalli disciolti, come Ba e Al. Tutto ciò al fine di identificare e tracciare le diverse masse d'acqua, di poterle datare e di poter calcolare le loro proporzioni di mescolamento.

II nostro contributo principale e stato fornito all'interno di questo schema di lavoro ed e consistito nella determinazione di ossigeno disciolto e nutrienti. Abbiamo anche fornito un piccolo contributo agli studi glaciologici, determinando il contenuto di nutrienti in alcuni *melt puddle* (pozze di fusione) ed in carote di ghiaccio sezionate e fuse immediatamente prima dell'analisi (Eicken et al., 1994; Luchetta et al., 1994).

Prima di illustrare alcuni risultati preliminari, e utile fornire qualche notizia generale sui mari di Barents e di Laptev (Fig. 1).

Il Mare di Laptev si estende a nord della Siberia, tra la penisola di Taymir e le isole della Nuova Siberia. E' un mare poco profondo (50 m) interamente al di sopra della piattaforma continen-tale eurasiatica. E' delimitate a nord dai bacini artici di Nansen e di Amundsen, mentre ad est e ad ovest comunica con altri due mari costieri (mare di Kara e mare della Siberia Orientale) tramite gli stretti di Vilkitsky e di Laptev. Riceve l'apporto di diversi fiumi siberiani (Hatanga, Olenek, Lena e Jana) di cui il Lena, con il suo vastissimo delta, e sicuramente il più importante. Questo mare quindi e caratterizzato da condizioni idrologiche estremamente variabili ed essendo stagionalmente libero da ghiacci, nonché sede di una polinya permanente, risulta una regione di produzione ed esportazione di ghiaccio giovane molto importante per l'intero Oceano Artico. Dal punto di vista dei processi fisici di piccola e meso scala questo mare e interessante perchè riceve il contributo massiccio di sostanze disciolte e sospese dai fiumi siberiani; potrebbe quindi risentire dell'apporto di acque fluviali fino a grandi distanze dalla foce (sino al margine della scarpata continentale) ed essendo sito di formazione di acque dense potrebbe persino portare il suo contributo alle masse d'acqua circolanti nei bacini Artici (aloclino e/o acque profonde). II mare di Laptev inoltre, in ragione della sua vastità e della modesta profondità, potrebbe consentire alle masse d'acqua residenti uno scambio con i sedimenti cosi efficace da influire sulle caratteristiche chimiche delle masse d'acqua stesse. II Mare di Barents, il più occidentale dei mari della piattaforma eurasiatica, è mediamente più profondo (200 m) e non riceve apporti fluviali importanti. E' sicuramente sito di formazione di acque dense (Midttun, 1985) che si accumulano al fondo e, seguendo la batimetria della piattaforma, scorrono fino a riversarsi nel bacino di Nansen.

E' fortemente influenzato dalla presenza di acque atlantiche che entrano in superficie da Capo Nord e, incontrandosi con le acque polari fredde, determinano il Fronte Polare (Socal et al., questo volume). Oltrepassato il fronte le acque atlantiche sono presenti a profondità intermedie. Si ipotizza continuino a fluire a nord-est, verso l'Oceano Artico, per ricongiungersi alla *West Spitzbergen Current* entrante dallo stretto di Fram.

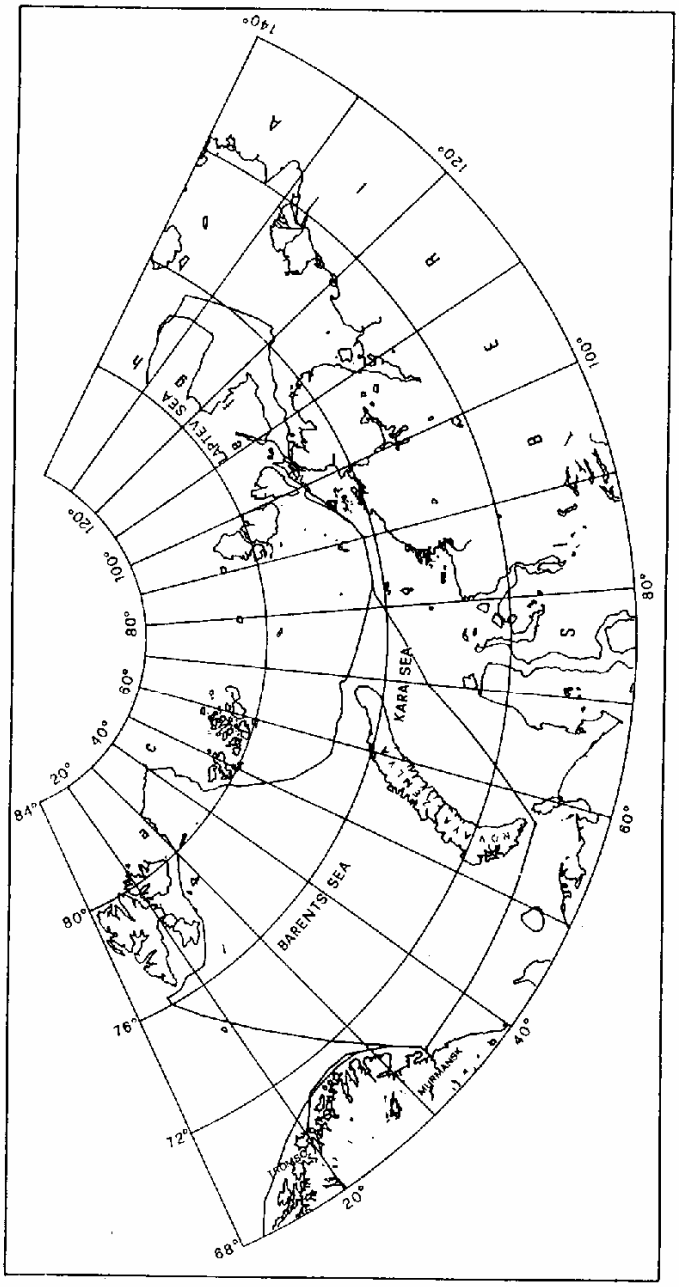


Fig. 1 - Mari della piattaforma eurasiatica dell'Oceano Artico

2. METODI

Le analisi sono state eseguite a bordo immediatamente, dopo il recupero della Rosette. I nutrienti disciolti sono stati analizzati per mezzo di un Autoanalyzer Technicon, dotato di colorimetro Chemlab a cinque canali, secondo i metodi riportati da Grasshoff (1983). L'ossigeno disciolto e stato determinate secondo il metodo di Winkler (Grasshoff, 1983) con rivelazione potenziometrica del punto finale.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nelle figure 2, 3 e 4 troviamo illustrate alcune proprietà della colonna d'acqua di tre stazioni appartenenti alle due regioni della piattaforma continentale investigata. Le considereremo rappresentative del Mare di Barents (stazione 6, in Fig. 2) e di Laptev (stazioni 31 e 44, in Figg. 3 e 4) e da un confronto qualitativo di alcune caratteristiche chimico-fisiche tenteremo di proporre qualche considerazione molto preliminare.

Dal confronto dei profili di salinità risulta subito evidente che la stazione del mare di Barents e più salata (salinità >34,00, Fig. 2), ma soprattutto molto più omogenea della stazione 31 nel mare di Laptev (salinità massima attorno a 32,00, Fig. 3).

La bassa salinità superficiale (28,50) e chiaramente imputabile all'apporto del fiume Lena, poiché l'effetto della fusione dei ghiacci non e tale da permettere il raggiungimento di valori cosi bassi (come si può dedurre dal confronto con la stn 44, riportata in Fig 4).

I profili dei nutrienti si accordano bene con il profilo della salinità in tutte le stazioni. Mostrano anch'essi una forte stratificazione nella stazione 31, nonostante la sua scarsa profondità (35 m), che indica la presenza di tre diverse masse d'acqua, tra la superficie e i 10 m, tra 10-25 m, da 25 m al fondo, con un contenuto di nutrienti e ossigeno omogeneo nello strato superficiale ed in quello di. fondo. Lo strato superficiale sembra occupato da una lingua d'acqua fluviale, povera di nutrienti rispetto allo strato di fondo.

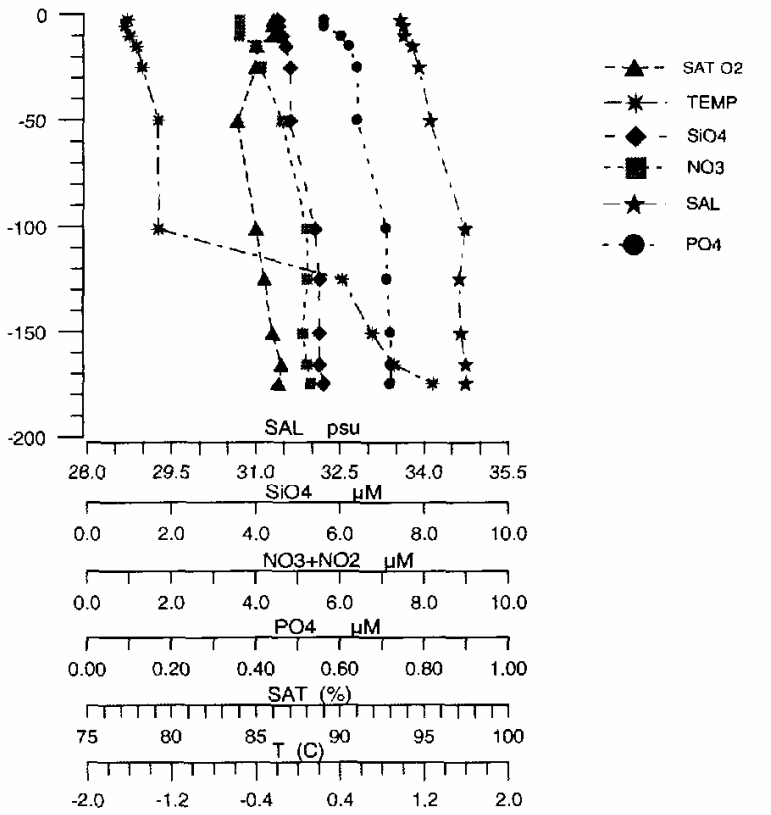


Fig. 2 - Profili di salinità, saturazione O_2, nutrienti disciolti nella stazione n° 6 (Mare di Barents)

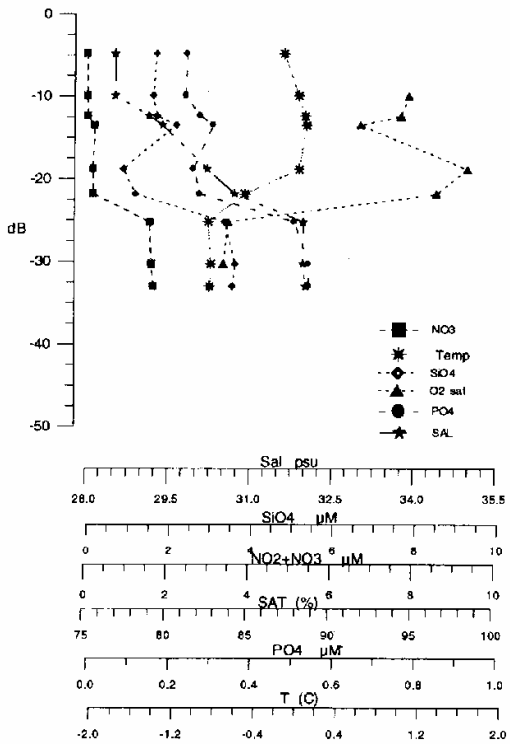


Fig. 3 - Profili di salinità, saturazione O_2, nutrienti disciolti nella stazione n° 31 (Mare di Laptev)

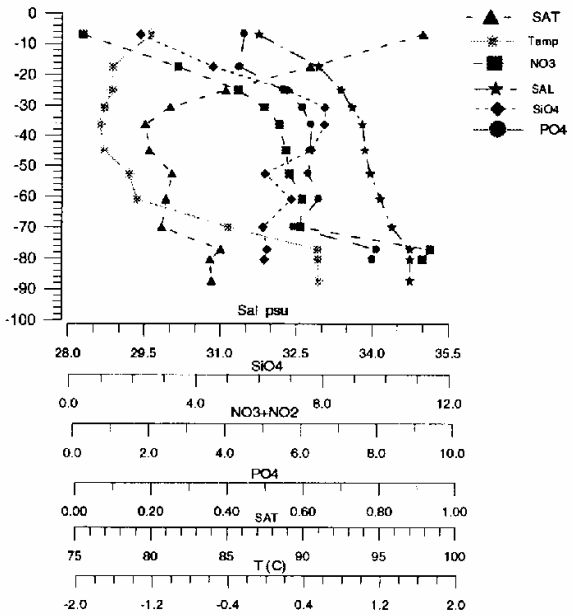


Fig. 4 - Profili di salinità, saturazione O_2, nutrienti disciolti nella stazione n° 44 (Mare di Laptev)

Lo strato di fondo, per salinità e contenuto di nutrienti, sembrerebbe formato da acqua marina vecchia (vedi valore di saturazione O: e T), diluita dallo scioglimento dei ghiacci. Conferma a questa ipotesi potrebbe venire dai dati di traccianti (freon e ^{18}O).La stazione n° 6 esibisce un contenuto di nutrienti costante dalla superficie al fondo. Ciò farebbe pensare ad una situazione invernale in cui la *deep convection* abbia raggiunto il fondo, mescolando completamente tutta la colonna d'acqua, se non fosse per l'andamento della temperatura che non conferma assolutamente quest'ipotesi. Induce invece a ipotizzare la presenza di almeno 2 masse d'acqua distinte: una di origine artica, fredda (T<-1,0 °C) e leggermente più dolce (S >34,5), dalla superficie a 100 m di profondità, ed una di origine atlantica, calda (0 C>T>1,0 °C) e più salata (S >34,60) modificatasi nel mare di Barents, al di sotto dei 125 m. Queste masse contengono però quantità di nutrienti molto simili. La stazione 44 infine mostra distribuzioni di salinità e nutrienti omogenee dai 30 m al fondo (100 m). Mentre i 20 m superficiali, con salinità e concentrazioni di nutrienti minori (ad eccezioni dei silicati), mostrano i segni della diluizione per effetto della fusione dei ghiacci e indicano un consumo massiccio di nitrati. In conclusione i valori di concentrazione dei nutrienti sono nettamente diversi tra le stazioni 6 e 31 e tra la 31 e la 44, a tutte le profondità ($4,0<NO_3<5,5$ µM, $5,0<SiO_4<6,0$ µM, $0,6<PO_4<0,8$ µM per 6 e 44; $0,0<NO_3<2,0$ µM, $2,0<SiO_4<4,0$ µM, $0,2<PO_4<0,5$ µM per la 31), mentre le maggiori differenze tra 6 e 44 sono localizzate nello strato superficiale.

Considerando l'intera colonna d'acqua la stazione 44, situata al margine della scarpata continentale a nord ovest della 31, e molto più simile alla stazione del mare di Barents, quantomeno fino alla profondità di 100 m, che non alla stazione 31; suggerendo in tal modo che non ci siano differenze su grande scala tra le stazioni delle due piattaforme.

Considerando invece una scala intermedia (meso) e confrontando le due stazioni appartenenti al mare di Laptev vediamo che sono molto diverse ed il motivo della diversità sta nell'apporto del fiume Lena, che non riesce a raggiungere la stazione 44. Passando ora ad un confronto di tipo biologico, sapendo che esistono ben determinate correlazioni tra consumo di nutrienti e produzione primaria nello strato superficiale, esamineremo le stazioni considerate.

I dati dello strato intermedio della stazione 31 sembrano suggerire l'occorrenza di un bloom fitoplantonico a 15-20 m, in corrispondenza di un marcato picnoclino. Il bloom è suggerito dall'impoverimento di tutti i nutrienti a questa quota, ma soprattutto dal consumo esaustivo di NO_3 (sotto il limite di rivelabilità = 0,15 µM) accompagnato da un corrispondente massimo relative di ossigeno (95% sat).

Il bloom di cui qui supponiamo l'esistenza è probabilmente gia esaurito in considerazione dei seguenti fattori: bassi valori di clorofilla trovati (Springer, comunicazione personale), la zona è completamente libera da ghiacci da un certo tempo, il massimo di ossigeno e relativo e non e (superficiale. Ciò sarebbe in accordo con il fatto che anche nell'Artico i bloom iniziano al limite dei ghiacci *(Marginal Ice Zone),* sono molto brevi e terminano a causa dell'esaurimento totale di nutrienti nello strato superficiale (sopra il picnoclino) oppure a causa del *grazing* da parte dello zooplancton (Sakhaug & Holm-Hansen, 1984).

L'ipotesi di un bloom già avvenuto trova riscontro in un bloom attivamente in corso leggermente più a nord, in prossimità della MIZ (come indicate dai nostri dati di

nutrienti, ossigeno e dai dati di clorofilla e feopigmenti, Springer, 1994). Dall'analisi dei dati sulle specie fitoplanctoniche sara interessante vedere se anche in quest'area il bloom primaverile e dominato da diatomee, come gia succede nel mare di Barents e come generalmente avviene nelle zone polari (Sakhaug & Holm-Hansen, 1984).

La stazione n° 6 del mare di Barents non e apparsa coinvolta in alcun fenomeno di bloom ed il contenuto di nutrienti dello suo strato superficiale e ben lontano dall'essere esaurito. Anche stazioni eseguite più nord, in transetti perpendicolari alla scarpata continentale, non hanno dato segni di essere interessate da eventi di produzione primaria di qualche significato.

4. CONCLUSION!

Riassumendo si sono notate alcune notevoli differenze sia tra le due regioni geografiche investigate che all'interne di una stessa regione. Precisamente da un punto di vista dei movimenti di masse d'acqua sulla piattaforma, su piccola, meso e perfino grande scala, la differenza più sostanziale sembra verificarsi all'interno di uno stesso mare piuttosto che tra due mari diversi; suggerendo che il motive determinante sia la presenza o meno di apporti fluviali.

Da un punto di vista biologico e di studio della produttività primaria ci sono invece indicazioni dell'esistenza di notevoli differenze tra mare di Barents (a bassissima produzione nel periodo considerate) e il mare di Laptev, interessato da bloom fitoplantonici in corrispondenza della MIZ.

RINGRAZIAMENTI

La partecipazione italiana a questa campagna e avvenuta con il contributo dell'European Science Foundation e dell'Istituto Talassografico di Trieste. Pertanto si ringrazia il Direttore dell'Istituto Talassografico.

Si ringraziano il sig. M. Iorio ed il sig. S. Tortato rispettivamente per 1'aiuto fornito nella preparazione della campagna e per la preparazione dei disegni.

BIBLIOGRAFIA

Codispoti, L.A. & F.A. Richards. 1968. Micronutrient distributions in the east Siberian and Laptev seas during summer 1963. *Arctic,* 15: 251-277.

Eicken, H., V. Alexandrov, R. Gradinger, G. Ilyin, B. Ivanov, A. Luchetta, T. Martin, K. Olsson, E. Reimnitz, R. Pac, P. Poniz & J. Weissenberger. 1994. Distribution, structure and hydrography of surface melt puddles. In: The Expedition ARCTIC 93 Leg ARK IX-4 of RV "Polarstern" 1993. *Berichte zur Polarforschung,* 149/94: 73-76.

Fuetterer, D. 1994. The Expedition ARCTIC 93 Leg ARK IX-4 of RV "Polarstern" 1993. *Berichte zur Polarforschung,* 149/94: 37-38.

Grasshoff, K. 1983. Methods of Seawater Analysis (K. Grasshoff, M. Ehrhardt, K. Kremling, Eds). Verlag Chemie.

Luchetta, A., G. Civitarese, G. Socal, J. Wiktor & U. Schauer. (Questo volume). Identificazione di acque artiche ed atlantiche attraverso lo stretto di Fram ed intorno alle isole Svalbard. *Atti XI Congr. AIOL.*

Luchetta, A., P. Poniz & G. Ilyjn. 1994. Chemical oceanography: dissolved nutrients and oxygen. In: The Expedition ARCTIC 93 Leg ARK IX-4 of RV "Polarstern" 1993. *Berichte zur Polarforschung,* 149/94: 37-38.

Midttun, L. 1985. Formation of dense bottom water in the Barents Sea. *Deep-Sea Res.,* 32: 1233-1241.

Rachor, E. 1992. Scientific cruise report of the 1991 Arctic Expedition ARK VII-2 of R/V "Polarstern". *Berichte zur Polarforschung,* 115/92: 32-42.

Sakhaug, E. & O. Holm-Hansen. 1984. Factors governing pelagic production in polar oceans. In: Marine phytoplankton and productivity (O. Holm-Hansen, L. Bolis & R. Gillis Eds). Heidelberg, Springer.

Socal, G., J. Wiktor & G. Civitarese. (Questo volume). Mare di Barents: evoluzione temporale di un fronte polare. *Atti XI Congr. AIOL.*

Springer, K. 1994. Phytoplankton and particle flux. In: The Expedition ARCTIC 93 Leg ARK IX-4 of RV "Polarstern" 1993. *Berichte zur Polarforschung,* 149/94: 79-83.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L, 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 645 - 654

INDIPENDENZA DELLE CENOSI FITOPLANCTONICHE DALLE MASSE D'ACQUA CIRCOSTANTILEISOLE EOLIE

Mario INNAMORATI, Luca MASSI e Caterina NUCCIO

Laboratorio di Ecologia, Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università,
Via P.A. Micheli 1, 50121 Firenze, Italia

ABSTRACT

During the oceanographic cruise EOCUMM94 (July 1994) in the Eolian Archipelago and surrounding basins, the spatial distribution of phytoplankton biomass and coenoses appears quite independent from thermohaline properties of the waters, i.e. from the different water masses, but controlled by light and nutrients concentration. On all sites, Tyrrhenian Surface Water (TSW) occupies the mixed layer (0-10 m) while North Atlantic Water (NAW) is found in the upper thermocline in the western side, but eastward gradually disappears by mixing with the underlying Tyrrhenian Intermediate Water (TIW). In the T1W of Gioia Basin lenses of Levantine Intermediate Water (LIW) are found. TSW, NAW and TIW all show the same tyrrhenian summertime coenoses with low cell densities dominated by phytoflagpllates. In. all basins, no matter if within TSW, NAW or TIW, a deep chlorophyll maximum occurs at different depth but about at the same irradiance as it is the 0.2% of the PAR on sea surface, which, of course, is about he same everywhere at the same time. Here the coenoses are of picophytoplankton specialized to low irradiance and to narrow spectral composition. In the Gioia Basin, between 25 and 50 m, there is a layer of high biomass concentration dominated by diatoms, which prefer nutrients-rich waters: therefore probably a lense of LIW of Jonic origin upwelled by pulsations through the Straits of Messina.

l. INTRODUZIONE

Nella zona fotica del mare dell'Arcipelago delle Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e di Gioia sono individuabili l'acqua atlantica (NAW), la tirrenica superficiale derivante dalle modificazioni termoaline dell'atlantica (TSW), la tirrenica intermedia (TIW) negli strati sottostanti e quella proveniente dallo Jonio, che risale attraverso lo Stretto di Messina portando in superficie l'acqua intermedia levantina (LIW). Si viene così ad avere che le differenze orizzontali, verticale e stagionali dei fattori ambientali, fisici, chimici e della biomassa fitoplanctonica di queste acque, presentino una varietà che è particolarmente interessante per l'ecologia del fitoplancton, cioè per la definizione dei rapporti tra questo ed i fattori ambientali. Per una loro caratterizzazione sono stati

esaminati i profili verticali della temperatura, della salinità e della radiazione in rapporto alla densità e composizione specifica della biomassa fitoplanctonica per identificare le modalità della distribuzione delle cenosi rispetto alle diverse masse d'acqua ed alla disponibilità della radiazione PAR. Qui viene esposto quanto risulta da una prima analisi dei dati; successivamente, in base anche a quelli degli altri gruppi partecipanti alla ricerca, verranno più estesamente esaminati.

2. METODI

I rilevamenti sono stati effettuati dal 7 al 12 luglio 1994 a bordo della N/I "Ammiraglio Magnaghi" della Marina Militare nelle acque dell'Arcipelago delle Eolie e dei Bacini di Cefalù e di Gioia (Fig. 1).

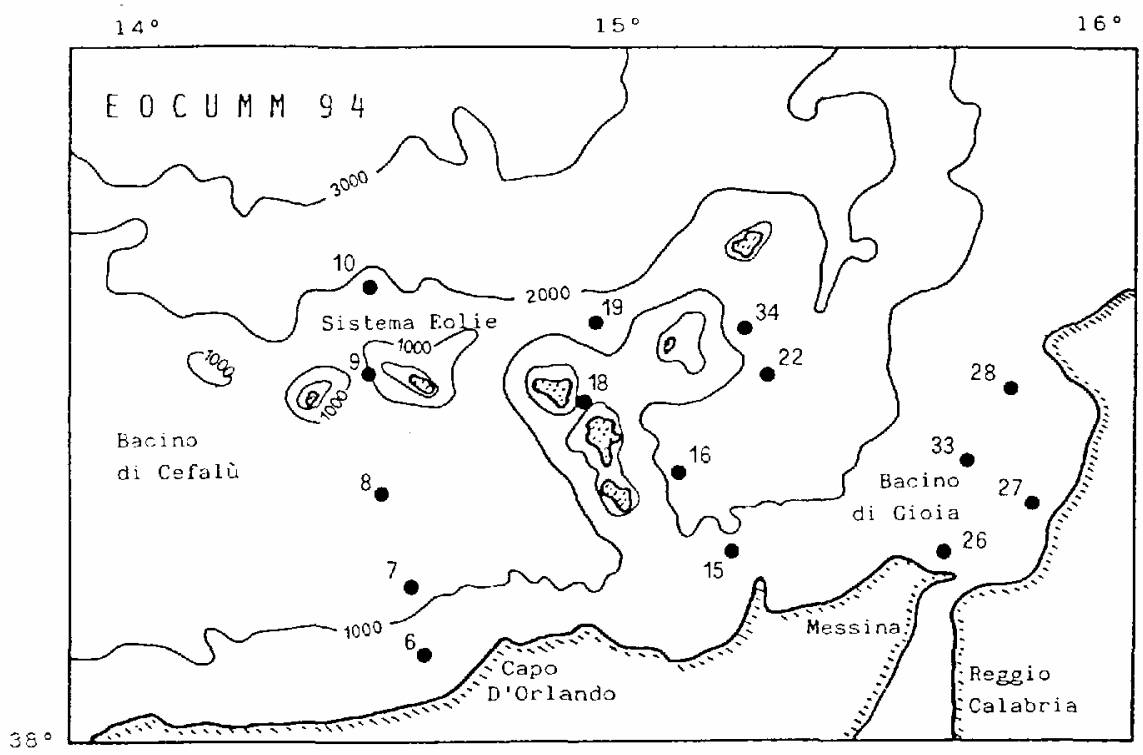


Fig. 1 - Stazioni di campionamento.

In 15 stazioni (6, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 18, 19, 22, 26, 27, 28, 33, 34) sono stati eseguiti profili CTD e di fluorescenza (KMS Meerestechnik; fluorimetro Backseat Haardt) e prelevati campioni di acqua. In alcune di queste (9, 18, 19, 26, 27, 34) è stata misurata l'irradianza quantica PAR discendente, ascendente e scalare mediante fotobatisonda (Innamorati et al., 1994) e nelle stazioni 19, 26 e 27 sono stati misurati gli spettri della irradianza sottomarina a varie profondità (1800UW LI-COR). La profondità della zona eufotica z_{eu}, alla quale il rapporto tra l'irradianza E_Z alla profondità z e l'irradianza sulla superficie E_0 e E_Z/E_0=0.01, e stata determinata mediante le rispettive

irradianze scalari. A ciascuna profondità di campionamento sono stati prelevati 10 dm^3 (Niskin) ed utilizzati 3 campioni di 250 cm^3. In uno e stata dosata la sostanza organica disciolta (Bricaud et al., 1981) mediante lo spettro di assorbimento (55IS Perkin Elmer) dell'acqua filtrata (GF/F, 0.45 µm), in un altro e stata determinata la densità delle particelle sospese e la loro distribuzione dimensionale (Multisizer Coulter Counter) e 50 cm^3 del terzo, fissato con 10 cm^3 di formalina neutralizzata, sono stati sedimentati e osservati al microscopio invertito per l'analisi del fitoplancton.

3. RISULTATI

L'analisi del diagrammi T-S (Fig. 2a), riferiti allo strato compreso tra la superficie e 150 m, ha evidenziato delle caratteristiche comuni a tutta la zona e tipiche del Tirreno in estate.

In tutti i bacini, 1'acqua ad alta temperatura e salinità (26-27 C, 38.1-38.2 ups) dello strato mescolato di superficie, derivante dal riscaldamento e dalla evaporazione locali e stagionali della NAW che confluisce nella zona, e compresa tra 0 e 10 m e costituisce la TSW. Al di sotto di questa, nel Bacino di Cefalù (st. 8, Fig. 2b), si colloca la NAW, che risulta compresa nel termoclino tra 10 e 50 m, in cui si passa da 26 a 15 C e da 38.2 a 37.8 ups., ma che verso oriente perde sempre più le caratteristiche originarie, aumentando la salinità oltre 37.9 ups (st. 22, Fig. 2c) a causa del mescolamento con la TIW. Nel Bacino di Cefalù la TIW si osserva a partire dai 50 m di profondità, mentre nell'area delle Eolie e presente già a 25 m, in tutti i casi si estende fino a ca. 150 m dove la temperatura arriva a 13 C e la salinità a 38.5 ups.

Nel Bacino di Gioia (st. 27, Fig. 2d), dove le condizioni idrologiche sono fortemente influenzate dai flussi verso sud e verso nord dello Stretto di Messina, si rileva poi una strutturazione complessa: lo strato superficiale non e più omotermoalino e presenta rimescolamenti e stratificazioni di vari tipi di acqua; al di sotto non è più ravvisabile la NAW e la salinità è sempre superiore a 38. I profili termico e alino presentano brusche variazioni, che si riflettono più smussate su quello della densità (Fig. 3c), assumendo la temperatura una configurazione a gradinata e la salinità una simile ad una trocoide, che così segnalano il succedersi di masse d'acqua differenti tra le quali sono probabilmente presenti lenti di LIW originate da pulsazioni delle acque joniche che risalgono lo Stretto e penetrano nel Tirreno portandosi a profondità inferiori a quelle originarie.

Le modalità di distribuzione verticale della biomassa fitoplanctonica presentano tre caratteristiche, evidenziate dai profili di fluorescenza (Fig. 3).

La prima, comune a tutta 1'area esaminata, e la scarsa biomassa tipica delle acque superficiali tirreniche in estate (Fig. 3).

Anche la seconda è comune a tutta l'area ed è una tipica struttura estiva nel Tirreno (Lazzara et al., 1989): il massimo profondo di clorofilla, il cui picco è compreso tra 70 e 100 m ca. (Fig. 3).

La terza è un altro banco di fitoplancton molto denso, caratteristico del Bacino di Gioia e pur presente molto più modestamente nella zona delle Eolie (st. 19, Fig. 3), che si trova tra 25 e 60 m ed assume il massimo sviluppo alla st. 27 dove la fluorescenza è 4 volte quella delle altre zone.

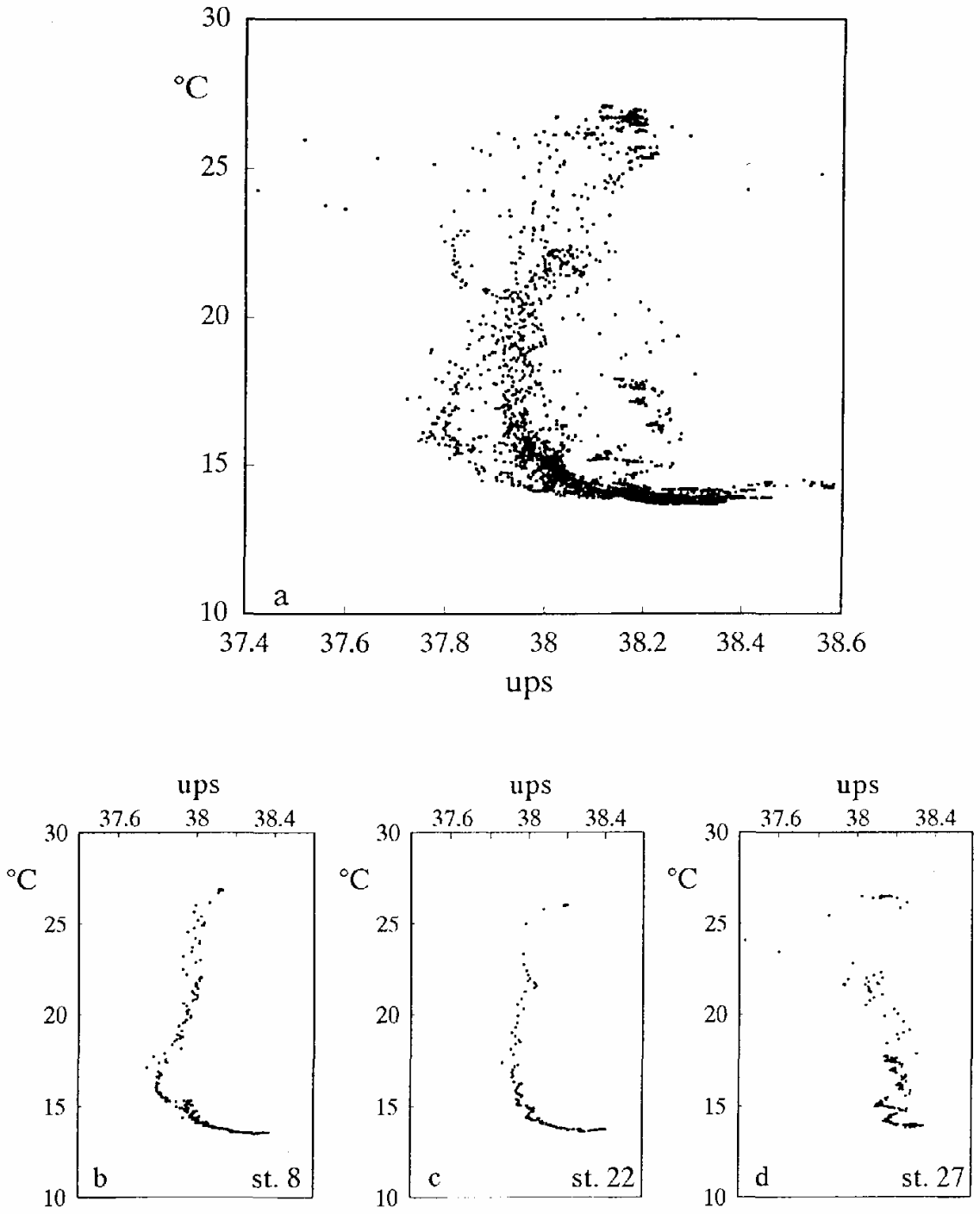


Fig. 2 - Diagrammi temperatura-salinità: **a**, tutte le stazioni; **b**, **c** e **d**, stazioni esemplificative.

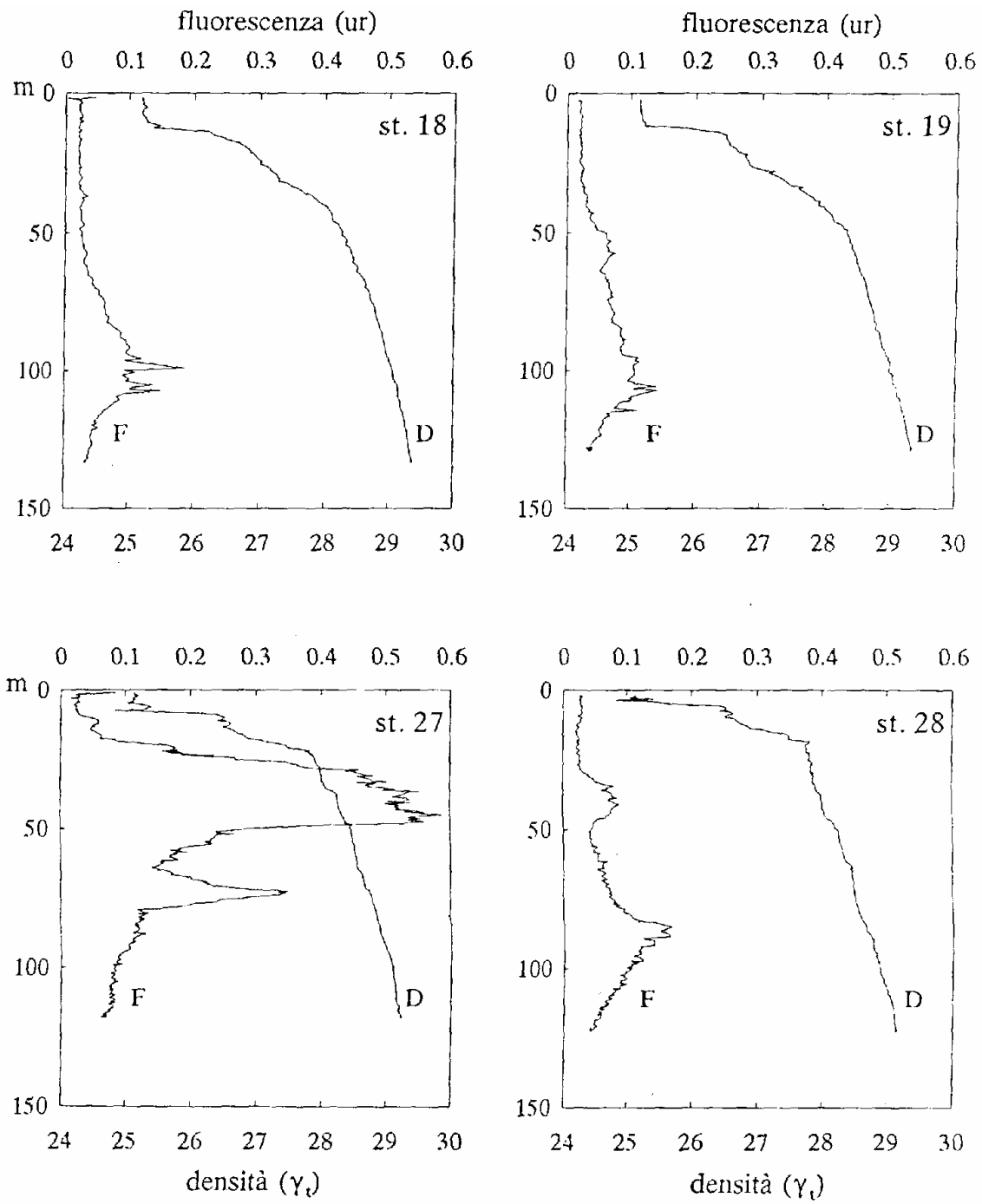


Fig. 3 - Profili batimetrici della fluorescenza e della densità.

Queste tre strutture di distribuzione verticale della biomassa sono costituite da tre differenti tipi di cenosi.

Le acque superficiali di tutti i bacini presentano quella tipicamente estiva, a scarsa densità è in genere ad alta diversità, che è appunto composta da flagellati di varie classi adattati alla scarsità di nutrienti: dinoflagellate, coccolitoforidee, *Cryptophyceae* ed altri non identificati. (Marino et al., 1984; Lazzara et al, 1989; Nuccio et al., 1995).

Nei banchi di clorofilla presenti, a 70-100 m, il popolamento micro e nanoplanctonico è più scarso mentre si nota la presenza di forme coccoidi di circa 3 µm. E' ipotizzabile che l'aumento di fluorescenza sia in questi casi dovuto soprattutto alla biomassa delle forme picofitoplanctoniche, tipiche delle acque oligotrofiche profonde ed adattate alle scarse intensità di irradianza.

I banchi di clorofilla più superficiali, tra 25 e 60 m, delle stazioni del Bacino di Gioia sono invece formati da una cenosi a diatomee di densità molto elevata e dominata in particolare dai generi *Pseudonitzschia* e *Chaetoceros.* Questa cenosi, già descritta da vari autori (Magazzù et al., 1975; Acosta Pomar et al., 1991; Marino & Zingone, 1991), è tipica delle acque ricche di nutrienti; man mano che ci si allontana dallo Stretto verso nord si ritrova ancora, sebbene con minor densità cellulare, evidentemente per lo sprofondamento del flusso di acqua jonica e la sua diluizione con le acque tirreniche.

In base alla distribuzione batimetrica della irradianza e seguendo la classificazione ottica di Morel (1988), tutte le acque esaminate appartengono alle acque del 1 caso, per le quali è appunto il fitoplancton 1'elemento predominante nella determinazione della quantità e qualità della irradianza spettrale sottomarina. Così, a causa della presenza del banco subsuperficiale di fitoplancton, la profondità della zona eufotica (Fig. 4) nelle acque del Bacino di Gioia e minore che nelle altre stazioni: alla st. 27 e 53 m, mentre alla st. 18 e 77m.

Nel Bacino di Cefalù e nel sistema delle Eolie il massimo profondo di biomassa si posiziona al di sotto della profondità eufotica, mentre nel Bacino di Gioia il primo massimo si trova al di sopra ed il secondo al di sotto (Fig. 5); inoltre in questo bacino la quantità di biomassa nella zona eufotica e il 55-60% del totale (Tab. 1), mentre nel Bacino di Cefalù e nella zona circostante le Eolie e il 40-45%.

E' di particolare interesse il fatto che i banchi profondi del fitoplancton si posizionano in tutti i bacini fra lo 0.17 e lo 0.2% della PAR superficiale (Fig. 5, Tab. 2). Dato che 1'irradianza solare in superficie e in media eguale per 1'intera area di indagine la cenosi dei banchi profondi si va a collocare nei diversi bacini e nelle diverse acque a delle profondità differenti alle quali pero si ha, nelle varie ore del giorno, una irradianza media che e sempre la stessa per tutte le stazioni, così come lo e quella meridiana che e pari a circa 2000x0.002=4 µmol/s m^2 di fotoni.

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Nello strato superficiale di 150 m del Sistema delle Eolie e dei Bacini di Cefalù e di Gioia sono presenti diverse masse d'acqua che, per la variazione della loro presenza e le modalità della loro distribuzione lungo la colonna d'acqua, differenziano i bacini tra di loro. Si individuano la TSW, la NAW, la TIW e la LIW e vi si riscontrano tre tipi fondamentali di cenosi fitoplanctoniche: nello strato eufotico quella oligotrofica a

fitoflagellati con densità comunque più elevate di quelle solitamente stimate per il Tirreno settentrionale (Lazzara et al., 1989; Nuccio et al., 1995); quella ad elevata biomassa, a diatomee che nel Bacino di Gioia sostituisce, sempre nella zona eufotica, i fitoflagellati e la più profonda oligofotica probabilmente a picofitoplancton.

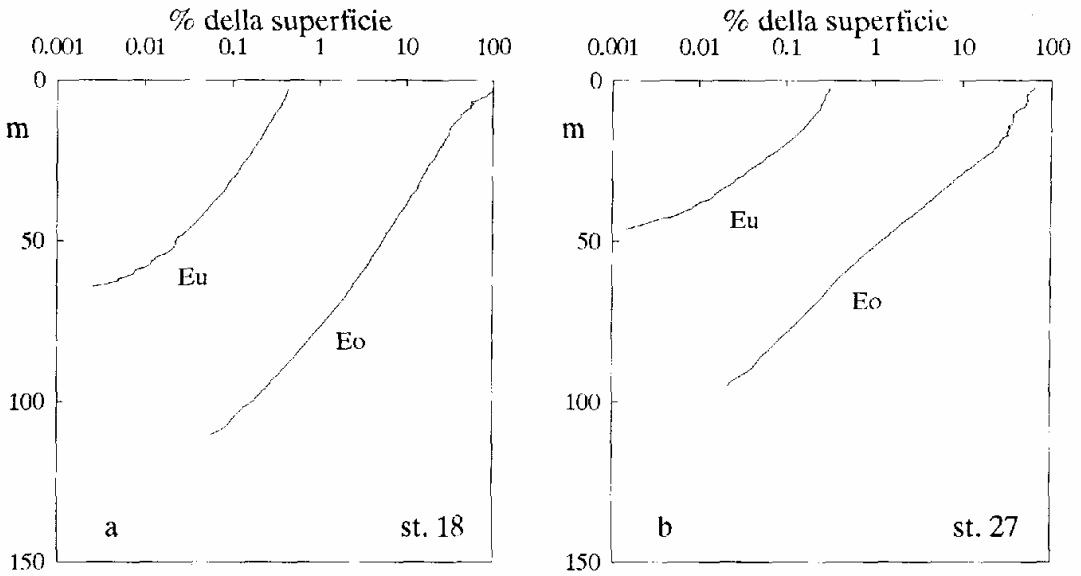


Fig. 4 - Profili batimetrici dell'irradianza quantica PAR ascendente (E_u) e scalare (E_o) in percento di quella discendente sulla superficie marina.

Tab. 1 - Profondità della zona eufotica (z_{eu}), valore massimo (F_{max}) della fluorescenza (u.r.), fluorescenza integrata nella zona eufotica $F(0\text{-}z_{eu})$, tra 0 e 120 m $F(0\text{-}120)$ e loro rapporto.

St.	z_{eu}	F_{max}	$F(0\text{-}z_{eu})$	$F(z_{eu}\text{-}120)$	$\frac{F(z_{eu}\text{-}120)}{F(0\text{-}z_{eu})}$	$\frac{F(z_{eu}\text{-}120)}{F(0\text{-}120)}$
9	75.8	0.241	2.166	3.511	1.621	0.619
18	77.3	0.187	2.284	3.855	1.688	0.628
19	77.8	0.143	3.070	3.785	1.233	0.552
27	52.8	0.586	12.49	8.645	0.692	0.409
34	93.0	0.119	2.834	2.489	0.878	0.468

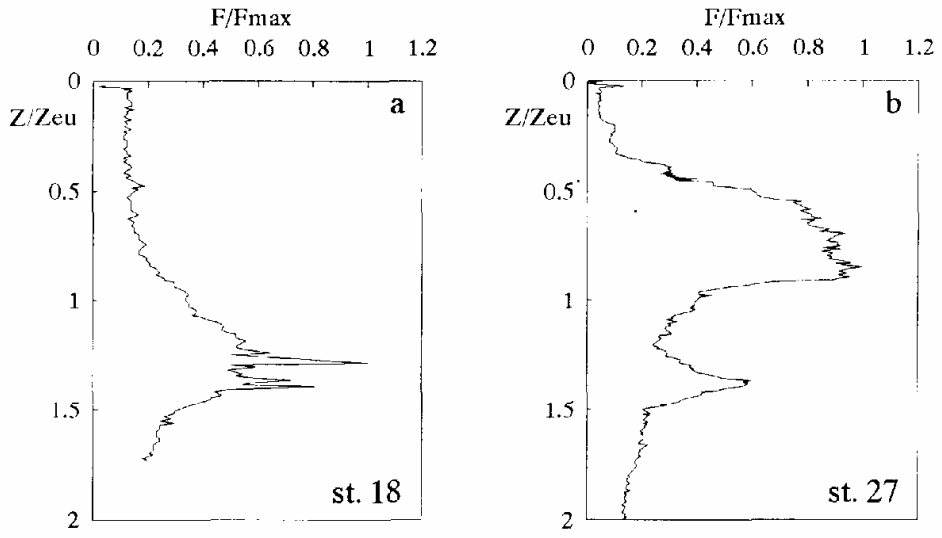


Fig. 5 - Profilo verticale del rapporto tra la fluorescenza e la fluorescenza massima *(F/F_{max})* in relazione al rapporto tra la profondità e la profondità della zona eufotica *(z/z_{eu})*.

Tab. 2 - Profondità del massimo profondo di fluorescenza (z_F), trasmittanza della PAR superficiale (*%PAR*), coefficiente medio di attenuazione dell'irradianza (*K*) e rapporto della profondità z_F con quella eufotica (z_F / z_{eu}).

St.	z_F m	*%PAR*	*K* m^{-1}	z_F / z_{eu}
9	97.3	0.165	0.066	1.28
18	99.2	0.195	0.063	1.28
19	105	0.235	0.058	1.35
27	71	0.213	0.087	1.35
34	104.9	0.206	0.059	1.28

Tuttavia queste tre cenosi si formano e si mantengono: la prima sia nella TSW, che nella NAW e anche fin nella TIW; la seconda in quella che probabilmente e la LIW a Gioia, ma in misura minore anche nella TIW delle Eolie; la terza in tutte le acque a diverse profondità ma a parità di irradianza. Ciò significa che la loro formazione e la loro persistenza non dipendono dai vari dpi di masse d'acqua e si può inoltre osservare dai diagrammi che ciascuna delle cenosi non e associata ad un determinate tipo di condizione idrologica, ne a nessuna peculiare caratteristica picnica. Particolarmente dalla Fig. 3c, st. 27, nel profilo di fluorescenza si può notare che, nel banco più superficiale, man mano che all'aumentare della profondità la biomassa incrementa la sua densità e ……..

successivamente la diminuisce, le brusche variazioni termiche e aline alle volte determinano altrettanti piccoli gradini nel profilo di fluorescenza, ma l'impianto della struttura di questo continua ad aumentare o diminuire attraverso i vari strati di acqua: in modo che c quindi indipendente da questi. Altrettanto dicasi per il banco profondo presente in tutte le stazioni. Cosicché la presenza, la genesi e l'ubicazione dei banchi fitoplanctonici non sono in alcuna relazione con le masse d'acqua, ne con le caratteristiche termoaline che le contraddistinguono. Ciò ovviamente a prescindere dalle condizioni fotiche e trofiche, le quali pero, per una qualunque massa d'acqua, sono solo fattori contingenti e per nulla determinanti della sua genesi e delle sue caratteristiche. Il fatto che alcune brusche variazioni del gradiente termico si riflettano in quello della fluorescenza può essere dovuto agli effetti dei movimenti relativi delle masse nello strato limite che le separa, o ad altro, ma ciò non toglie che la densità del fitoplancton continui ad aumentare o diminuire lungo il profilo indipendentemente dalle piccole variazioni di salinità e temperatura.

Inoltre la posizione della banco fitoplanctonico profondo, che non appare legata a particolari masse d'acqua, si sposta tra queste per raggiungere quella profondità, differente tra le stazioni, ma alla quale in tutte si ha, a parità di ora diurna circa lo stesso valore di irradianza ed anche una composizione spettrale abbastanza simile: il massimo della distribuzione spettrale dell'irradianza dipende infatti dalla concentrazione dei pigmenti fitoplanctonici ed a 50 m si sposta da 479 nm, alla st. 19 ed a quelle più oligotrofiche, fino a 496 nm alla st. 27 nella quale la concentrazione dei clorofeopigmenti e maggiore.

Questi organismi si collocano quindi, nelle varie stazioni, circa alla stessa profondità ottica, $ln(E_0/E_z)=K_z z$, dove, pur avendosi nell'arco della giornata irradianze differenti si hanno irradianze uguali per tutte le stazioni a parità di tempo. Ciò significa che la loro posizione nella colonna d'acqua non e determinata semplicemente dalla irradianza istantanea, ma e in relazione alla disponibilità giornaliera di irradianza necessaria al mantenimento di un bilancio positivo del processo fotosintetico, tale da mantenere o sviluppare la biomassa fitoplanctonica esistente, la quale risulta adattata non solo a quel bassissimo livello di irradianza, ma anche a quella particolare composizione cromatica che e tutta gravitante sulla sinistra dello spettro visibile al disotto dei 500 nm.

Questa particolare combinazione di fattori idrologici e biologici mette in evidenza la grande importanza che assumono da una parte la luce e dall'altra i nutrienti nel determinare la distribuzione spaziale del fitoplancton rispetto a quella delle piccole variazioni di temperatura e salinità che, per esser tali, sono biologicamente insignificanti e, pur essendo le proprietà conservatrici che configurano la strutturazione e la distribuzione delle masse d'acqua, non determinano quella del fitoplancton.

RINGRAZIAMENTI

Ricerca effettuata con fondi MURST 40% nell'ambito del programma nazionale EOCUMM94 in collaborazione tra il Consorzio Nazionale Interuniversitario di Scienze del Mare e l'Istituto Idrografico della Marina Militare.

BIBLIOGRAFIA

Acosta Pomar, M.L.C., S. Vanucci & C. Gugliandolo. 1991. Distribuzione verticale delle componenti pico-nano e microplanctoniche nello Stretto di Messina. *S.IT.E Atti,* 12:91-97.

Bricaud, A., A. Morel & L. Prieur. 1981. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visibile domains. *Llmnol. Oceanogr.,* 26 (1): 43-53.

Hopkins, T.S. 1985. Physics of the Sea. Tn: Western Mediterranean (R. Margalef Ed.). Pergamon Press: 100-125.

Innamorati, M., L. Massi, L. Lazzara & P. Cartei. 1994. Biomassa fitoplanctonica e proprietà ottiche del mare. *Biol. Mar. Medit.,* 1(1): 83-88.

Lazzara, L., M. Innamorati, C. Nuccio, A.R. Mazzoli & G. Ceccatelli. 1989. Popolamenti fitoplanctonici dell'Arcipelago Toscano in periodo estivo. *Oebalia,* XV, 1 N.S.: 453-462.

Magazzu, G., C. Andreoli & F. Munao. 1975. Ciclo annuale del fitoplancton e della produzione primaria del Basso Tirreno (1969-1970). *Mem. Rial. Mar. Ocean.,* 5 (2): 25-48.

Marino, D., M. Modigh & A. Zingone. 1984. General features of phytoplankton communities and primary production in the Gulf of Naples and adjacent waters. In: Marine Phytoplankton and Productivity (O. Holm-Hansen, L. Bolis & R. Gilles Eds.). *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies,* 8: 89-100.

Marino, D. & A. Zingone. In print. Phytoplankton populations in the Straits of Messina as related to the Hydrological characteristics of the area: a review. In: The Straits of Messina Ecosystem, Proceedings of the Oceanographic Symposium, University of Messina, 4-6 April 1991 (L. Guglielmo, A. Manganaro & E. De Domenico Eds.).

Morel, A.. 1988. Optical Modeling of the Upper Ocean in Relation to its Biogenous Matter Content (Case I Waters). *Journal of Geophysical Research,* 93 (C9): 10749-10768.

Nuccio, C., M. Innamorati, L. Lazzara & A. Mancuso. 1995. Distribuzione spaziale e stagionale delle cenosi fitoplanctoniche nel Tirreno Settentrionale. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat.,* Serie A, Suppl. 102: 149-161.

Povero, P., T.S. Hopkins & M. Fabiano. 1990. Oxygen and nutrient observations in the Southern Tyrrhenian Sea. *Oceanolagica Acta,* 13 (3): 299-305.

Atti dell'11" Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 655 - 665

SEASONAL VARIATIONS OF VAGILE INVERTEBRATES ALONG A VERTICAL CLIFF (LIGURIAN SEA) SAMPLED BY FIXED TRAPS

Carlo CERRANO[1], Giorgio BAVESTRELLO[1],
Riccardo CATTANEO-VIETTI[1] e Daniela PESSANI[2]

[1]Istituto di Zoologia dell'Università di Genova, Via Balbi 5,1-16126 Genova
[2]Dipartimento di Biologia Animale dell'Università di Torino,
Via Accademia Albertina 17,1-10100 Torino

RIASSUNTO

Utilizzando una serie di trappole fissate a differenti profondità lungo una parete verticale del Promontorio di Portofino (Mar Ligure), e stato possibile studiare le variazioni stagionali e la distribuzione batimetrica di una importante frazione della fauna vagile bentonica litorale. Da un punto di vista quantitative, gli organismi più rappresentativi sono i paguri. *Cestopagurus timidus* e comune nelle stazioni superficiali (15-20 m), all'interno di comunita algali caratterizzate rispettivamente da *Dictyota dichotoma* ed *Udotea petiolata,* mentre *Pagurus chevreuxi* e più frequente nel coralligeno (25 m). La prima specie, inoltre, mostra migrazioni primaverili-estive lungo la falesia, legate al periodo riproduttivo. Oltre a queste due specie, 1'abbondanza degli organismi vagili (gasteropodi, copepodi arpacticoidi, ostracodi, anfipodi, tanaidacei e leptostraci), lungo il tratto di falesia considerato, e simile a 15 e 20 m di profondità, ma varia significativamente a 25 m, con la scomparsa degli ostracodi e 1'aumento dei misidacei.

Occasionalmente sono stati raccolti anche organismi planctonici, portati a contatto della parete da particolari condizioni idrodinamiche.

ABSTRACT

By means of a series of traps placed at different depths along a vertical cliff of the Portofino Promontory (Ligurian Sea, Italy), it was possible to collect a fraction of the vagile benthic macrofauna, thus allowing a quantitative study of its seasonal variation and bathymetric distribution. This method makes possible to estimate the abundance of each considered population and the used trap can be considered as a "continuous benthic recorder".

From a quantitative point of view, hermit crabs dominate. *Cestopagurus timidus* is a superficial species, linked to photophilous algal communities (15-20m depth),

characterized by *Dictyota dichotoma* (15 m) and *Udotea petiolata* (20 m), while *Pagurus chevreuxi* has a more skiophilous habitus and is common within the coralligenous community (25 m). C *timidus* shows a spring-summer migration along the cliff, linked to its reproductive period.

Apart from these two dominant species, the abundance of each item of collected fauna (gastropods, copepod harpacticoids, ostracods,-amphipods, tanaidaceans, leptostracans) along this cliff are similar within the algal communities, while at deeper levels, they change significantly, with the disappearance of the ostracods and a significative increase of the mysidaceans.

Furthermore, it was also possible to sample some planktonic items which occasionally come into contact with the cliff.

1. INTRODUCTION

Quantitative studies on the vagile benthos in rocky communities are generally difficult to carry out, as this type of fauna escapes the usual sampling methods. To sample this fauna, methods such as sucking pumps (Giangrande et al., 1986), plastic bags (mainly used to sample vagile fauna associated to arborescent structure) (Bavestrello et al., 1994; Taylor & Cole, 1994) or hand-towed net (mainly to sample inside *Posidonia oceanica* leaves) (Ledoyer, 1962; Russo et al., 1985) are usually applied but, although these methods give accurate values as to the quantity of each population, they are too temporally restricted and it is necessary to repeat surveys many times in order to have a global vision of the vagile fauna trends. Moreover difficulties arise because a large fraction of this fauna is active only at night, and consequently collecting is more complicated.

While using a series of traps to determine the cycles of sediments along a vertical cliff in the Ligurian Sea (Bavestrello et al., 1995), it was also possible to study the abundance of several vagile groups present in this area. This kind of trap proved very useful in collecting gastropods and small crustaceans, allowing a semi-quantitative study of these groups, their seasonal variations and bathymetric distributions.

As well as the typical benthic groups, it was also possible to sample some items of the planktonic fraction (siphonophorans, pteropods) which occasionally come into contact with the cliff, in favourable current and sea conditions.

2. MATERIALS AND METHODS

In order to study the seasonal cycles of the vagile fauna along a vertical cliff, three traps, as described by Bavestrello et al. (1991), were placed along the cliff near Punta del Faro (Portofino Promontory, Ligurian Sea) in three different littoral communities (Tortonese, 1958; 1961; Morri et al., 1986).

The first was placed at 15 m depth, in the photophilous algal biocoenosis, characterized during the summer by the *Dictyota dichotoma* forest. The second was attached at 20 m depth in a pre-coralligenous community characterized by *Udotea petiolata, Pseudolithophyllum expansum, Halimeda tuna, Dictyopteris membranacea*

and *Peysonnelia squamaria.* The animal sessile fraction here is represented by sponges *(Axinella damicornis, A. verrucosa, Petrosia ficiformis, Chondrosia reniformis, Crambe crambe),* hydrozoans *(Eudendrium glomeratum, E. racemosum),* anthozoans *(Parazoanthus axinellae, Eunicella cavolinii),* bryozoans *(Sertella septentrionalis, Pentapora fascialis, Schizomavella auricolata),* and ascidians *(Halocynthia papillosa, Microcosmus* spp.). The third, at 25 m depth, was placed in the coralligenous community, characterized by red algae (mainly *Pseudolithophyllum expansion),* hydroids *(Eudendrium glomeratum, Sertularella crassicaulis)* anthozoans *(Corallium rubrum, Parazoanthus axinellae, Eunicella cavolinii, Leptopsammia pruvoti),* and bryozoans *(Sertella septentrionalis, Pentapora fascialis, Schizomavella auricolata).*

Throughout January 1992-93, observations were carried out and samples collected monthly by SCUBA diving. Each trap was filled with 50 cc of chloroform to prevent microbiological activity. Samples were fixed in a solution of 4 % buffered formalin in sea water. The collected specimens were identified, when possible, at the specific level. Data about size, sex, presence of juveniles, and ovigerous females of the commonest species were recorded.

3. RESULTS AND DISCUSSION

1,856 trapped organisms were recorded, of which 66 % were found at the first level (15 m), 25 % at the second level (20 m), and 9 % in the third level (25 m). Winter presences at all levels were generally found to be scarce. In Tab. 1, the number of specimens for the main identified taxa, collected during the year for each depth is reported.

The results obtained reveal a general homogeneity of the populations present inside the first two considered levels, which can be called "algal levels", while the " coralligenous level" changes significantly.

Hermit crabs are the most commonly collected items: they represent about 70 % of the total. Other quantitatively relevant taxa (Fig. 1) are gastropods, ostracods, copepods, tanaidaceans and, occasionally, isopods and leptostracans *(Nebalia bipes).*

The presence of hydromedusae, siphonophores, polychaetes, sipunculids, and ophiuroids is far too sporadic to determine a seasonal trend.

Some considerations about the main collected groups are reported here.

3.1. *Mollusca*

<u>Gastropoda</u>

Of the several species of gastropods, from Cerithiidae and Nassaridae families, which were collected in the three traps, the *Bittium* species are the most represented. These common and detritivorous cerithiids (Borja, 1986) are present mainly during Spring, inside the algal communities (46.7 % in the superficial trap, 40.7 % in the middle one and only 12.6 % at the deepest level) (Fig. 1). The presence of mature females in May-June confirms the high frequence of veligers of this species during this period (Vives, 1966).

Other gastropods found in the traps, belonging to the genera *Nassarius* (61.9 % at the second trap), *Calliostoma, Gibbula, Alvania, Turboella, Rissoa, Muricopsis, Columbella, Raphitoma,* are sporadic and an annual trend is therefore difficult to define.

Tab. 1 - Number of specimens of the main taxa collected at the three different depths.

	Trap 1 15 m	Trap 2 20 m	Trap 3 25 m
MOLLUSCA GASTROPODA			
Bittium sp.	63	55	17
Nassarius sp.	7	13	1
Creseis acicula	12	14	10
COPEPODA nc.	49	57	68
OSTRACODA nc.	100	28	0
LEPTOSTRACA			
Nebalia bipes	1	65	1
MYSIDACEA n.c.	3	3	38
ANFIPODA nc.	50	31	19
ISOPODA			
Gnathia phallonajopsis	43	13	17
TANAIDACEA nc.	87	22	15
CUMACEA nc.	21	3	11
DECAPODA			
Periclimenes amethysteus	0	1	3
Athanas nitescens	5	21	12
Synalpheus gambarelloides	2	0	0
Alpheus dentipes	1	0	0
Alpheus macrocheles	0	0	1
Hippolytidae nc.	1	4	1
Hippolyte leptocerus	0	0	6
Thoralus cranchii	21	32	31
Eualus occultus	0	4	10
Processa sp.	2	3	0
Processa canaliculata	0	1	0
Processa parva	3	0	1
Pandalidae nc.	2	0	0
Upogebia deltaura	2	2	4
Pagurus anachoretus	27	9	2
Pagurus chevreuxi	54	56	133
Cestopagurus timidus	559	218	3
Galathea bolivari	11	2	6
Pilumnus villosissimus	1	0	0
Ebalia deshayesi	0	0	1
Eudeis spinosa	0	0	1
Anoplodactylus sp.	0	0	1
OFIUROIDEA nc.	0	3	0
SIPUNCULIDA nc.	1	2	1
SIPHONOPHORA nc.	3	2	0
fries	2	2	2

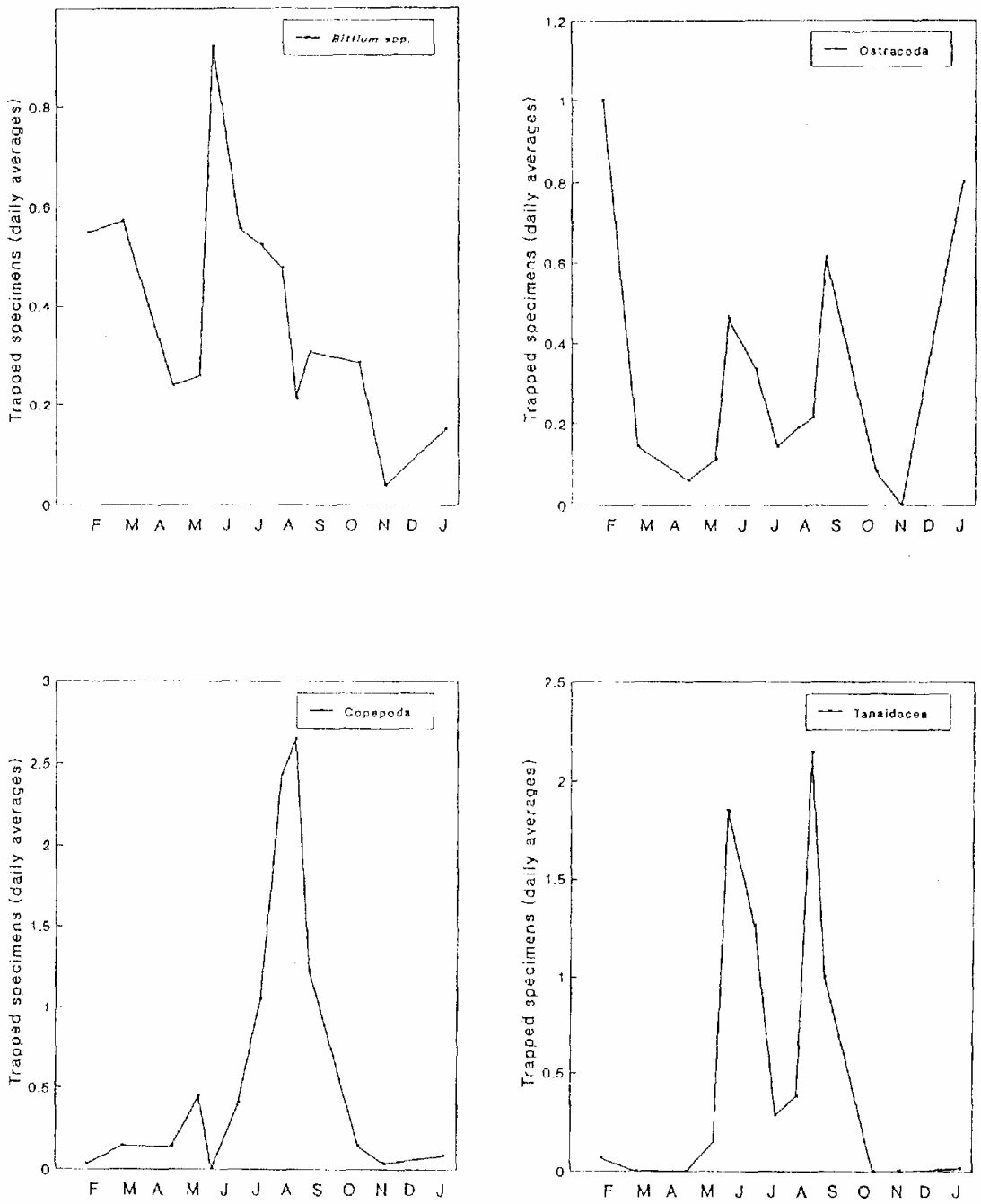


Fig. 1 - Daily average of some trapped groups of vagile invertebrates.

Of the planktonic molluscs, the pteropod *Creseis acicula* is sporadically present at all the depth studied.

3.2. *Crustacea*

Ostracoda

Ostracods are present irregularly during the whole year, but show an increase in Winter (Fig. 1). 77 % were collected in the superficial trap and no ostracods were collected inside the coralligenous community, at 25 m depth. The winter abundance of this group was underlined by Vives (1966).

Copepoda

Copepods, generally harpacticoids, increase gradually from May to September. Thereafter, they decrease rapidly and practically disappear in Winter (Fig. 1). Their bathymetric distribution along the cliff does not show any significative differences.

Malacostraca

Leptostraca: *Nebalia bipes* is the unique species of this group present in the Mediterranean Sea. 97 % of the specimens were sampled in the photophilous algal community, in only two short periods, February and August. According to Ledoyer (1968) this species is linked to soft-bottom communities, and is characterized by circadian rhythms (Macquart-Moulin & Castelbon, 1983). It was probably collected during night migrations along the cliff.

Mysidacea: mysidaceans arc skiophilous and consequently 86 % of the specimens were collected from within the coralligenous community.

Amphipoda: this group is represented by Gammaridea and Caprellidae which are present mainly in the algal communities. This population increases during the Summer and reaches the maximum values in November.

Isopoda: the most represented item of this group is the herbivorous larva (praniza) of *Gnathia phallonajopsis,* an ectoparasitic isopod. It occurs, mainly within the algal community from July to September, but specimens can be collected all year round. Other Isopods, belonging to Flabellifera, were occasionally collected.

Tanaidacea:also tanaidaceans were sampled mainly within the algal community. Their annual trend shows two characteristic peaks, one at the beginning and the other, at the end of the Summer. During the Winter they are rarer (Fig. 1).

Cumacea: this soft-bottom taxon has seldom been sampled: its presence along a rocky cliff is rare. 60 % of the specimens were collected at 15 m depth.

Decapoda: the general trend of these crustaceans shows an increase from June to, September at all the considered depths. The Caridea are the most represented, while the Talassinidea are very rare and present only in August with 8 juvenile specimens of *Upogebia deltaura* (Callianassidae).

Palaemonidae: few specimens of *Peridimenes amelhysteus* were collected during the winter, below 20 m depth. *P. amethysteus* was always found during Winter by Ledoyer (1968) in the coralligenous.

Alpheidae: *Athanas nitescens* is the commonest alpheid of this site. About 55 % was sampled in the *Dictyota dichotoma,* while the remaining fraction was mainly collected by

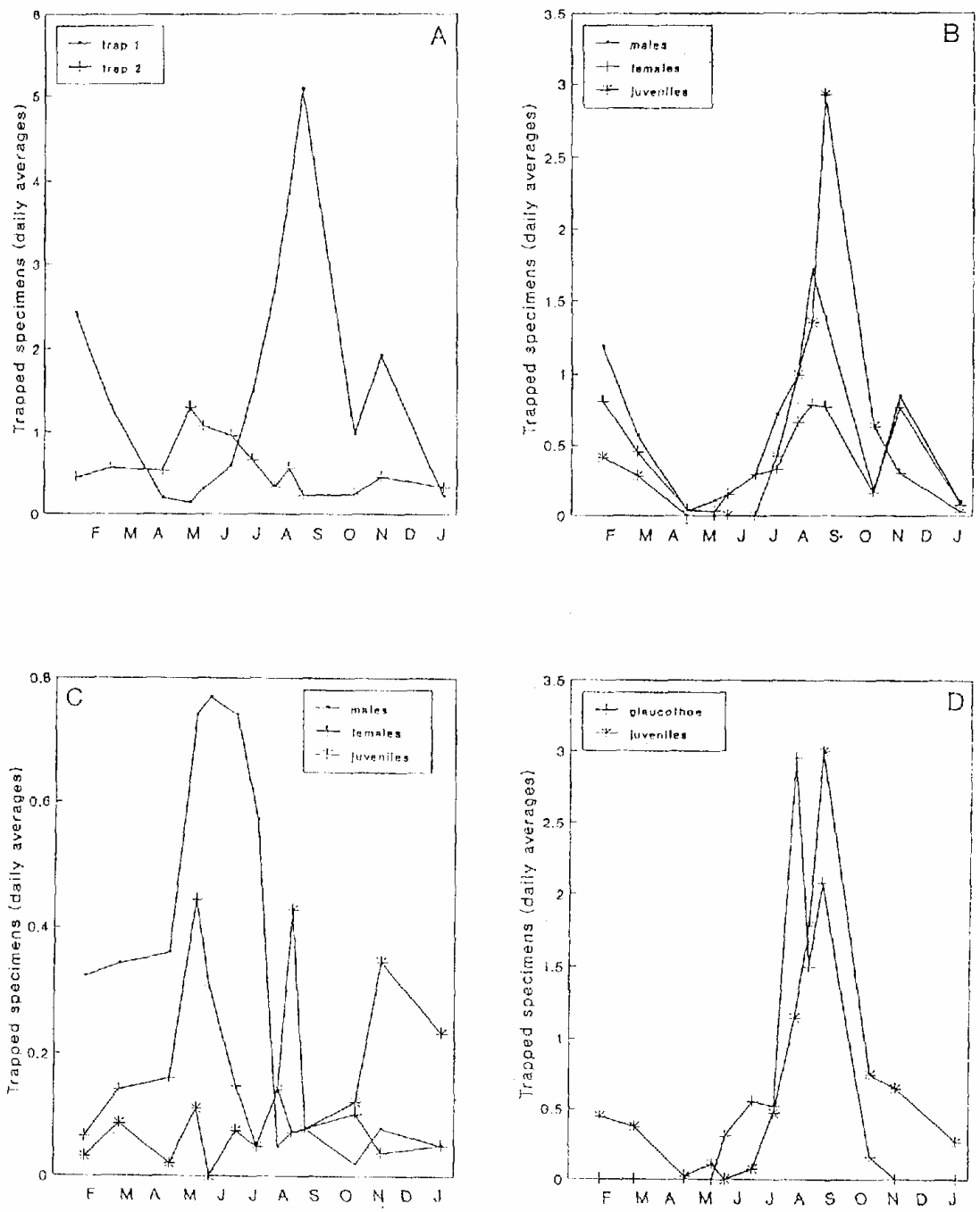


Fig. 2 - Index of abundance of the hermit crab *Cestopagurus timidus* during the studied year.

A) Percent index of abundance of *C. timidus* inside the considered communities, showing the photophilous habitus of this hermit crab. The first trap at 15 m, captured 70 % of all the collected specimens. The remaining hermit crabs have been collected at 20 m, and 53 % of them have been trapped in a short period, when ovigerous females have been present. No juveniles or adults were captured at 25 m.

B) The station at 15 m depth points out a trend with two peaks: in Winter and at the end of the Summer..

C) The station at 20 m depth shows a lower percentage of captured specimens. At this depth, the trend shows a peak in spring, corresponding to the minimum values observed in the superficial station. During this seasonal vertical shift along the cliff, from May to July, ovigerous females are found, especially in the second trap.

D) *Glaucothoe* have the most important peak during the Summer, after the reproductive period, and juveniles at the beginning of the Autumn. A month is required to end the last larval stage.

the deepest trap, confirming its skiophilous habitus (Ledoyer, 1968). Ovigerous females from June to August, according to the presence of larvae in littoral waters from April to September (Pessani, 1975). During the Summer, other species *(Synalpheus gambarelloides, Alpheus dentipes,* and *A. macrochd.es)* were occasionally collected.

Hippolytidae: the common and ubiquitous *Thoralus cranchii* was sampled all year round, mainly at 20 and 25 m depth. Mature females in May and August. The rarer *Eualus ocultus,* a species linked to the coralligenous (Ledoyer, 1968) was occasionally found at 25 m depth, and one mature female was collected in February. Moreover 11 specimens of *Hippolyte* were occasionally sampled.

Processidae: 10 juveniles of *Processa parva* and of the rarer *P. canaliculata* were collected. These species, linked to soft-bottom beds, probably come up during the night.

Pandalidae: Only two specimens of an undeterminated species were collected, in Winter, at 15m depth.

Galatheidae: *Galathea bolivari,* is the only sampled species. It is quite common during all year round, mainly in the deeper traps. One ovigerous female was recorded in May at 25 m depth.

Paguridae: hermit crabs were the most commonly collected species. They represent about 70 % of all collected specimens.
Cestopagurus timidus and *Pagurus chevreuxi* are always well represented, while *Pagurus anachoretus* is rarer.

The monthly presence of males, females, immatures (< 1.6 mm carapace length) and *glaucothoe* (the last larval stage) of *Cestopagurus timidus* was studied over the considered year. 70 % of the whole collected population was found within the *Dictyota dichotoma* community (15 m depth), but it shifted from 15 to 20 m depth, at the beginning of the reproductive period (Spring) (Fig. 2A). At 15 m depth, from the second half of August to the first half of October, the population structure is characterized by a high number of immatures (Fig. 2B). At 20 m depth, a strong increase of males occurs from May to July and of females mainly in May (Fig. 2C). They are ripe from May to July. The trend of the number per day of collected *glaucothoe* shows a maximum from August to September (Fig. 2D). The analysis of the carapace lengths (Fig. 3), divided in four seasons, puts in evidence a general homogenity of the population with two peaks made up of immatures (carapace length of 1.2 mm) and adults (2.2 mm long).

In the first quarter (January, February and March), the first peak represents the juveniles born in the previous Autumn, which concurs with the adult peak in the following period. In Autumn, the increase of the 1.2 mm size peak evidences the cohort born early in the Summer.

The total female/male sex ratio is 0.58, with a significative change of this relationship in the *Udotea petiolata* community during the reproductive period, when males increase significatively (Fig. 2B-C).

At 25 m depth, *C. timidus* is practically absent and seems to be replaced by *Pagurus chevreuxi,* which shows a significative abundance in October and November. Five ovigerous females were collected from May to July. This species has a size and areproductive period similar to those of *C. timidus,* but lives preferably in the coralligenous biocoenosis. Differences arise also in the shell choice: while *C. timidus* shows a preference for *Bitiium* shells (74.6 %), *P. chevreuxi* inhabits usually, higger

shells, belonging to different species such as *Nassariiis* (58.8 %), *Calliostoma, Gibbula,* and *Raphitoma* (Pessani et al., 1994). All the differences may be the result of competition between these two very close species.

Of *Pagurus anachorelus,* almost exclusively male specimens were collected mainly at 15 m depth; no ovigerous females were sampled.

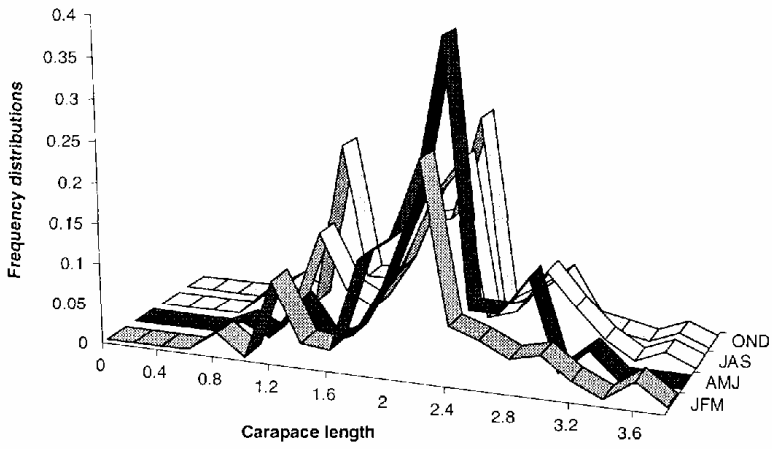


Fig. 3 - Carapace lenghts of *Cestopagurus timidus* gathered in four seasons (January, February and March; April, May and June; July, August and September; October; November and December). Comments in the text.

4. CONCLUSIONS

This study describes the basic pattern of annual distribution and abundance of mobile fauna living along a vertical cliff at Portofino Promontory (Ligurian Sea). The traps utilized appear useful for sampling a part of the littoral vagile fraction even if, probably, they do not allow for the capture of all vagile animals. The absence, for example, of errant polychaetes or caprellids, abundant in this area, suggests that "swimming-able" organisms can avoid these traps, which collect mainly "walking" ones. Moreover this method can only give an index of the abundance of a determined population in a restricted area and no quantitative data, as would be possible using a sucking pump. In this way, traps can be considered as "continuous benthic recorders".

This kind of trap is particularly efficient for the collection of hermit crabs. To date, studies on *C. timidus* have been conducted exclusively on populations living in *P. oceanica* beds (Zupo et al., 1989; Lòpez de la Rosa & Garcìa Raso, 1992; Pessani, 1992;

Gambi et al., 1992; Pessani & Premoli, 1993; Manjon-Cabeza & García Raso, 1994); no data are available about its life-history on rocky cliffs.

The life span of this species is about 20-21 months, with 3-4 cohorts during the year (Manjon-Cabeza & Garcìa Raso, 1994). Our observations support these data and add some information on its recruitment. It has been possible to define the general trend of the different stages *(glaucothoe,* juveniles, adults, ovigerous females) during the year, confirming in nature, the same development time required in the laboratory (Pessani, 1992). The interval of one month between the summer peak of *glaucothoe* and the following peak of juveniles suggests this time is required to a complete development from the last larval stage to the final benthic stage.

The change of the sex ratio within the population living at 20 m depth not only suggest a migratory habitus during the reproductive period, but also different behaviour among males and females.

REFERENCES

Bavestrello, G., R. Cattaneo-Vietti, C. Cerrano, R. Danovaro & M. Fabiano. In press. Annual sedimentation rate and role of the resuspension processes along a vertical cliff (Ligurian Sea, Italy). *J. Coast. Res.,* 11: 690-696.

Bavestrello, G., R. Cattaneo-Vietti, R. Danovaro & M. Fabiano. 1991. Detritus rolling down a vertical cliff of the Ligurian Sea (Italy): the ecological role in hard bottom communities. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.,* 12: 281-292.

Bavestrello, G., C. Cerrano & R. Cattaneo-Vietti. 1994. Colonies of *Eiulendrium glomemtum* (Cnidaria, Hydromedusac) as sediment traps on vertical rocky cliffs. *Boll. Mus. 1st. Biol. Univ. Genova,* 58-59: 125-130.

Borja, A. 1986. La alimentacion y distribucion del espacio en tres moluscos gasteropodos: *Rissoa parva* (Da Costa), *Barleeia unifasciata* (Montagu) y *Bittium reticulatum* (Da Costa). *Cah. Biol. Mar.,* 27: 69-75.

Gambi, M.C., M. Lorenti, G.F. Russo, M.B. Scipione & V. Zupo. 1992. Depth and seasonal distribution of some groups of the vagile fauna of the *Posidonia oceanica* leaf stratum: structural and trophic analyses. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol.,* 13: 17-39.

Giangrande, A., R. Manconi & R. Pronzato. 1986. A selective sampling method for the hard bottom vagile fauna. *Rapp. Proc.-verb.* CIESM, 30 (2): 265.

Ledoyer, M. 1962. Etude de la faune vagile des herbiers superficiels de Zosteracees et de quelques biotopes d'algues littorales. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume Bull.,* 25 (39): 117-235.

Ledoyer, M. 1968. Ecologie de la faune vagile des biotopes mediterraneens accessibles en scaphandre autonomc. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume Bull.* 44 (60): 1-295.

Lopez de la Rosa, I. & J.E. Garcfa Raso. 1992. Crustaceos decapodos de fondos de concrecionamentos calcareos asociados a *Posidonia oceanica* del sur de Españia (Almeria). *Cah. Biol. Mar.,* 33: 55-74.

Macquart-Moulin, C. & C. Castelbon. 1983. Periodicite circadienne spontanee chez les jeunes *Nebalia bipes* (Fabricius) (Crustacea, Phyllocarida). Induction et synchronisation initiale du rythme endogene d'activite. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 70: 1-20.

Manjòn-Cabeza, M.E. & J.E. Garcia Raso. 1994. Estructura de una poblacion del cangrejo ermitano *Cestopagurus timidus* (Crustacea, Decapoda, Anomura) de fondos de *Posidonia oceanica* del SE de Espafia. *Cah. Biol. Mar.,* 35: 225-236.

Morri, C., C.N. Bianchi, V. Damiani, A. Peirano, G. Romeo & L. Tunesi, 1986. L'ambiente marino tra Punta della Chiappa e Sestri Levante (Mar Ligure): profile ecotipologico e proposta di carta bionomica. *Boll. Mas. 1st. Biol. Univ. Genova,* 52 (suppl.): 213-231.

Pessani, D. 1975. Ricerche sulle larve di Crostacei Decapodi nel Golfo Tigullio (Mar Ligure). *Boll. Mus. 1st. Biol. Univ. Genova,* 43: 41-62.

Pessani, D. 1992. Aspects of the life history of two species of Mediterranean hermit crabs: *Clibanarius erythropus* (Diogenidae) and *Cestopagurus timidus* (Paguridae). *Oebalia,* 17 (suppl. 2): 303-307.

Pessani, D., C. Cerrano, G. Bavestrello & R. Cattanco-Vietti, 1994. Life history of the Mediterranean Hermit Crab, *Cestopagurus timidus* (Crustacea: Paguridae) collected by fixed traps. *Ethology, Ecology and Evolution,* Firenze, 6: 442-443.

Pessani, D. & C. Premoli. 1993. Some aspects of the biology of *Cestopagurus timidus* (Crustacea, Paguridae) in relation to the occupied shell. *Boll. Zool,* 60: 199-205.

Russo, G.F., E. Fresi & D. Vinci. 1985. The hand-towed net method for direct sampling in *Posidonia oceanica* beds. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.* 29 (6): 175-177.

Taylor, R.B. & R.G. Cole. 1994. Mobile epifauna on subtidal brown seaweeds in northeastern New Zealand. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115: 271-282.

Tortonese, E. 1958. Bionomia marina dclla regione costiera fra Punta della Chiappa e Portofino (Riviera ligure di levante). *Archo Ocean. Limn.* 9 (2): 167-210.

Tortonese, E. 1961. Nuovo contributo alla conoscenza del benthos della scogliera ligure. *Archo Ocean. Limn.,* 12 (2): 164-183.

Vives, F. 1966. Zooplancton neritico de las aguas de Castellon (Mediterraneo occidental). *Inv. Pesq.,* 30: 49-166.

Zupo, V., G.F. Russo, E. Fresi & M. Scardi. 1989. Hermit crabs of a *Posidonia oceanica* bed: zonal patterns and shell selection. In: International Workshop on Posidonia Beds (C.F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi & V. Gravez Eds.). *GIS Posidonie publ,* Fr., 2: 207-218.

Atti dell'11° Congresso dell'Associazione Ita/iana di Oceanologia e Limnologia
(Sorrento, 26-28 Ottobre 1994) - Genova: A.I.O.L., 1996
G. Albertelli, A. De Maio & M. Piccazzo (eds): 667 - 677

MORFOLOGIA E STRUTTURA DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE TRA VADO LIGURE E SAVONA E SUOI RAPPORTI CON LA FASCIA LITORALE

Francesco FANUCCI[1], Ornella FERRETTI[2], Marco FIRPO[3], Mauro PICCAZZO[3] & Silvie DAVIDE[3]

[1]Istituto di Geodinamica e Sedimentologia, Università di Urbino
[2] Centro Ricerche Ambiente Marino, ENEA S. Teresa, La Spezia
[3] Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Genova

RIASSUNTO

Vengono presentati alcuni dati inediti su morfologia, struttura ed evoluzione del Canyon sottomarino di Vado (Liguria occidentale). La parte più prossima alla costa ha raggiunto nel Pleistocene medio-superiore una condizione di completa colmata da parte dei depositi terrigeni dei corsi d'acqua della zona. Nel Pleistocene terminale-Olocene la fase tettonica ben nota, che rimobilizza i margini del Mediterraneo occidentale, riattiva anche le linee su cui il canyon è impostato causando collassi tettonici e gravitativi. Lungo le depressioni morfologiche cosi create si impostano correnti di torbida (soprattutto durante le fasi wurmiane di *low-standing* del livello marino) e correnti di densità erodendo e asportando sedimenti e contribuendo ad accentuare le depressioni stesse.

ABSTRACT

In this paper the Authors present some new data on the morphology, geological structure and evolution of Vado's submarine canyon (western Liguria). The area closest to the coast was completely filled with terrigenous sediments deposited by streams and rivers in the zone during the middle-upper Pleistocene. During the final phase of the Pleistocene-Holocene the well known tectonic phase remobilised the margins of the western Mediterranean reactivating the faults that create the canyons causing gravitational and tectonic collapses. Along these morphological depressions turbidity and density currents eroded and removed sediments, contributing to the accentuation of these depressions (this is particularly true for the wurmian phase when sea level was lower).

1. PREMESSE

Tra tutti i canyons che movimentano la morfologia del margine continentale delle Alpi Liguri e Marittime, quello di Vado non è certo tra i più appariscenti. Di lunghezza modesta, non sbocca direttamente nella piana bacinale principale, ma, a profondità assai minori (1200-1500 m), in un bacino interne (Bacino di Savona); inoltre si presenta relativamente ampio e non profondamente inciso ed è dubbia una sua confluenza in uno dei canyons di Genova, riportata da alcune carte morfologiche del Mar Ligure (Rehault, 1981). Nondimeno il suo studio riveste una non trascurabile importanza per la modellistica sulla genesi, evoluzione e ruolo attuale dei canyons mediterranei, per i seguenti motivi:

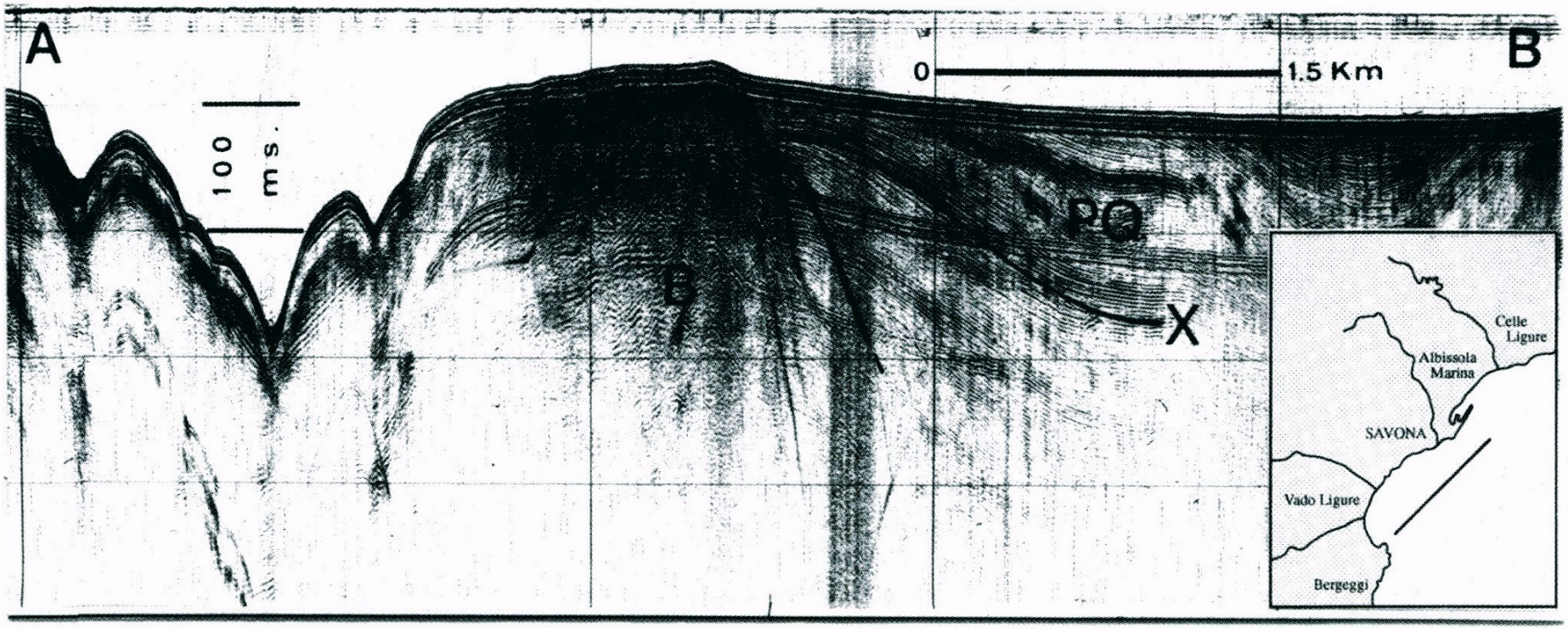


Fig. 1 - Profilo sparker 1 kj normale all'asse del Canyon di Vado. E' evidente la struttura della depressione e il collasso della colmata che non si è prodotto nella depressione vicina (B = basamento acustico; PQ = Plio-Quaternario; X = livello notevole all'interno della sequenza).

- è impostato su una importante linea tettonica trasversale al margine che ha una probabile prosecuzione a terra in una delle valli convergenti verso la zona di testata del canyon. Lo stile strutturale sottocosta e quello di un *graben* asimmetrico, con *master fault* a E (Fig. 1), che muta in un ampio *half graben* verso il largo;
- è di origine recente, poiché la depressione strutturale che lo ricetta è colmata da una potente sequenza plioquaternaria che il canyon taglia bruscamente, ma solo superficialmente;
- i fianchi e la testata sono sede di recentissimi movimenti gravitativi di imponenti masse sedimentarie, rese instabili dall'approfondimento del canyon.

La piattaforma della zona presenta poi altri motivi di interesse: vi si rinvengono, ad esempio, testimonianze di fasi ben distinte di stasi del livello marino nel corso della risalita postglaciale e spessori insoliti di sedimento olocenico. La piana costiera ha subito nel Plio-Quaternario una evoluzione complessa e articolata in molti eventi che ne fa una zona significativa per lo studio del Pleistocene marino in Liguria.

2. MORFOLOGIA DELLA ZONA

Una batimetria di dettaglio dell'area in esame (Fig. 2) mostra con grande evidenza tre particolarità salienti:
- un protendimento della piattaforma e della scarpata, cui corrisponde a terra il Promontorio del Priamar;
- una marcata rientranza rappresentata dalla testata del Canyon sottomarino di Vado;
- un protendimento meno accentuate in corrispondenza del Promontorio di Bergeggi.

L'andamento della costa e determinate prevalentemente da lineamenti morfostrutturali paralleli allo sviluppo del margine (circa SW-NE; in uno di essi e alloggiata la valle del T. Segno), eredita della strutturazione del Pliocene inferiore, mentre la morfologia sottomarina e dominata da motivi ad orientamento prevalente NW-SE.

I fianchi della depressione sono ripidi sino a circa 600 m di profondità, poi lasciano spazio ad un talweg ampio e tendenzialmente bipartite sino all'isobata dei 950 m, in corrispondenza della quale esso si fa più marcatamente inciso sino allo sbocco nel Bacino di Savona. Il fianco occidentale ha una morfologia regolare, mentre quello orientale e movimentato da depressioni secondarie ad andamento ortogonale rispetto al talweg.

La testata ha una morfologia articolata in più lobi, di cui solo l'orientale si avvicina alla costa, suddividendosi ulteriormente. La presenza della testata influenza l'andamento dell'isobata dei 50 m, caratterizzato soprattutto dal rialzo del Priamar.

A profondità inferiore tutte le particolarità descritte non si risentono più e la morfologia si regolarizza ad opera degli apporti sedimentari dei Torrenti Segno, Quiliano e Letimbro.

3. IL CONTESTO STRUTTURALE

La quasi totalità del margine ligure alpino ha attualmente un assetto determinate in gran parte da tre famiglie di strutture a carattere prevalentemente disgiuntivo:
1 - strutture ad andamento medio E-W, di varia origine e attività nel corso del Neogene-Quaternario, attualmente quiescenti;
2 - strutture ad andamento variabile (prevalentemente SW-NE) parallele allo sviluppo longitudinale del margine stesso. Ereditate dalle fasi di apertura del Bacino Ligure, dette strutture determinano gran parte dell'assetto degli affioramenti pliocenici entro la fascia costiera del Golfo di Genova, contenuti entro "trappole tettoniche". Regolano anche, com'e ovvio, tutta la dinamica verticale del margine e della costa e sono in gran parte attive, avendo iniziato a svolgere i ruoli citati a partire dal Pliocene superiore;

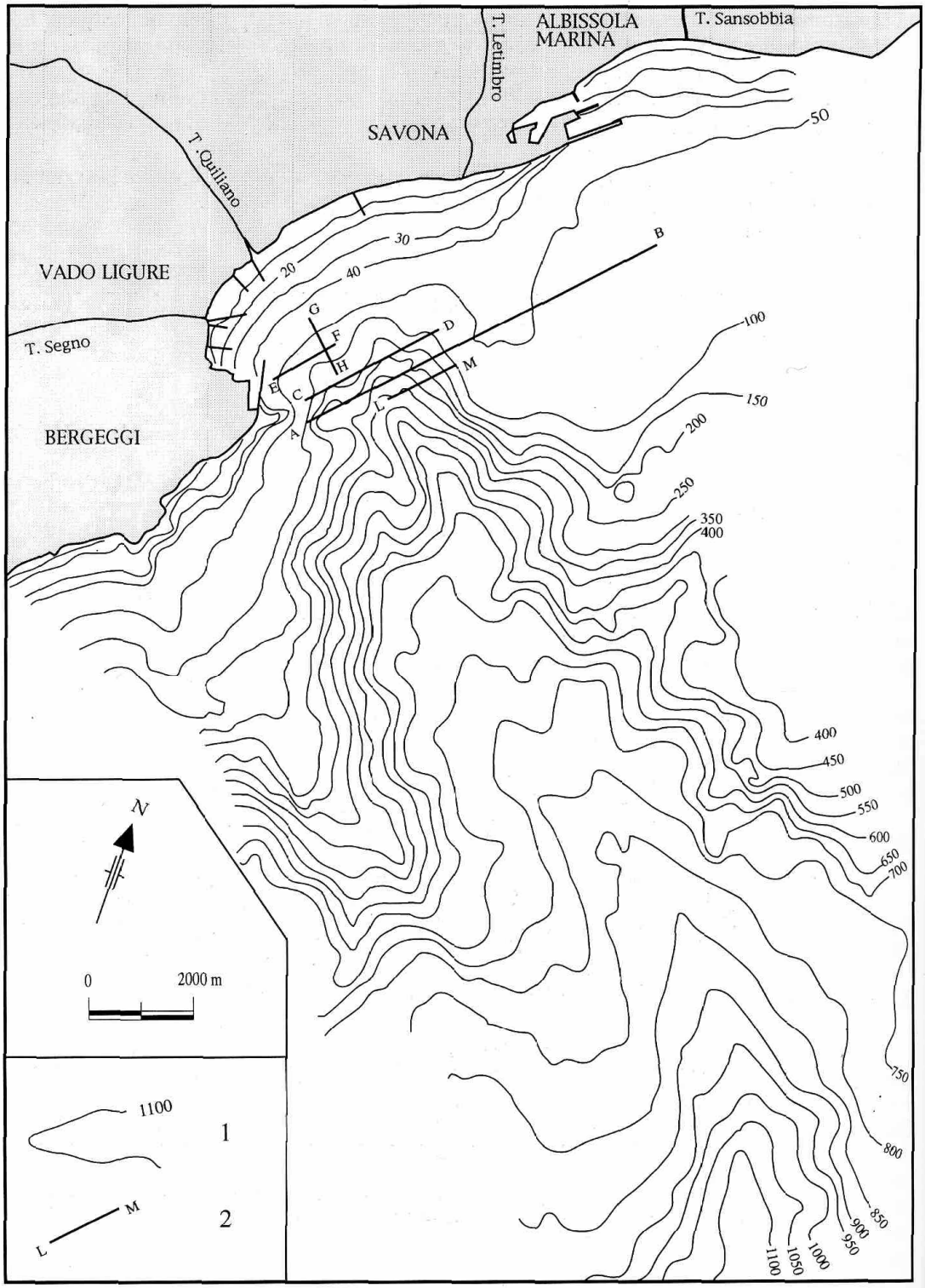


Fig. 2 - Batimetria dettagliata della zona in esame: 1) curve batimetriche; 2) ubicazione dei profili pubblicati.

3 - strutture ad andamento variabile (da N-S a NW-SE), circa ortogonali allo sviluppo del margine. In alcuni casi esse danno origine a depressioni ampie ed importanti, con il fondo occupato da Evaporiti, attive già nel Miocene superiore; in altri casi si sono attivate durante il collasso tettonico del margine nel Pliocene inferiore e sono state poi in larga misura obliterate dall'attività delle linee del punto precedente. Entrambi i sottogruppi contengono strutture rimaste inattive nel Pleistocene e le depressioni a cui esse hanno dato origine sono completamente colmate e nascoste dalla copertura plio-quaternaria. Solo laddove vi e stata una sicura riattivazione recente delle strutture in esame si e originate un canyon che, in ogni caso, mostra relitti di una complete colmata sedimentaria, collassata e successivamente erosa.

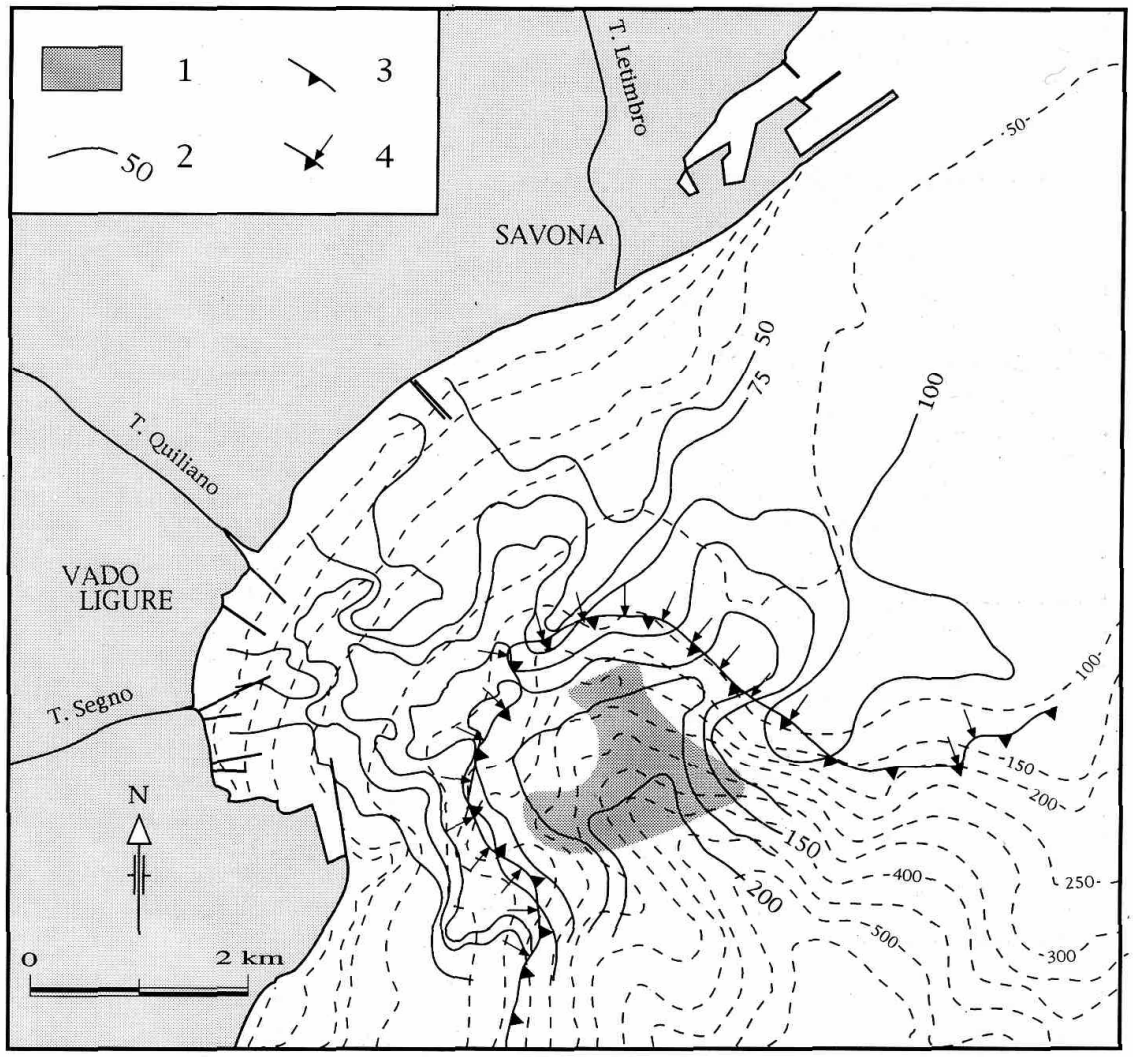


Fig. 3 - Carta batimetrico-morfologica: 1) area di instabilità; 2) isocrone del substrato pre-pliocenico che ne evidenziano la struttura; 3) shelf break; 4) shelf break in progradazione.

La particolare situazione locale del Canyon di Vado si evince dalla mappa di figura 3: la morfologia del substrato pre-pliocenico è in massima parte determinata dalle strutture del gruppo 2, anche sottocosta, le quali interferiscono, senza del tutto obliterarla, con una struttura ortogonale (3) che si spinge quasi a riva in prossimità della valle del T. Quiliano, bordata da affioramenti del Pliocene inferiore. Non sono segnalati sedimenti evaporitici in corrispondenza del canyon. Pare evidente, quindi, che il complesso di strutture su cui si impostano la valle subaerea e il canyon sottomarino siano da ascrivere alla fase tettonica del Pliocene inferiore. Le strutture attivate a partire dal Pliocene superiore si sovraimpongono ad esse, disattivandole e favorendo 1'accumulo di un potente complesso sedimentario; successive attivazioni delle strutture 3 propiziano la formazione della depressione su cui si imposta il canyon.

La figura 4 mostra con chiarezza l'assetto attuale della parte alta del Canyon: un *graben* asimmetrico all'interno del quale, all'atto della riattivazione tettonica, è collassata una potente copertura quaternaria. A giudicare dalla figura stessa, la movimentazione tettonica sembra essere stata addirittura posteriore, in questa sezione, alla deposizione dei livelli olocenici.

4. SISMOSTRATIGRAFIA DELL'AREA

La sismica a riflessione mette in luce corpi, livelli e particolarità diverse a seconda del potere risolutivo dell'apparato utilizzato.

Il substrato acustico e rappresentato sui profili sparker dall'insieme dei corpi geologici pre-messiniani. Si presenta intensamente tettonizzato ovunque (Fig. 1); non vi è traccia di livelli evaporitici né di un'eventuale morfologia subaerea messiniana, rilevata in zone limitrofe (Fanucci et al., 1974), completamente obliterata dalla tettonica plio-pleistocenica. Eventuali corpi arenaceo-conglomeratici del Messiniano o del Pliocene possono essere tuttavia confusi con il substrato, complice 1'estrema tettonizzazione.

II Pliocene può essere identificato con l'insieme di livelli sottostanti ad un orizzonte (X) che talora presenta caratteri di superficie di discordanza, talora di semplice cambio di fades acustica (Fig. 1). Non e sempre rilevabile il corpo acusticamente trasparente che rappresenta ovunque in Mediterraneo il Pliocene basale (o inferiore basso). Esso può effettivamente mancare in certi punti o essere sostituito da una facies acustica fittamente stratificata, in accordo con le facies litologiche rilevabili a terra. Come queste ultime, anche le facies acustiche presentano marcate eteropie; generalmente, verso il largo, la facies trasparente ricompare con gradualità. Mentre al di sotto dell'orizzonte X i livelli acustici sono disposti parallelamente, o a riempimento di depressioni preesistenti, o ancora mostrano limitate discordanze in prossimità di *master faults* più volte riattivate, al di sopra inizia lo stile a clinostratificazione progradante, tipico di tutte le piattaforme mediterranee.

Sotto il profilo stratigrafico è probabile che il corpo sottostante l'orizzonte X includa anche il Pleistocene inferiore, presente massicciamente anche nella piana costiera, mentre il corpo sovrastante rappresenti il solo Pleistocene medio-superiore.

Al di sopra di una superficie erosiva molto importante, corrispondente agli eventi glacio-eustatici wurmiani (orizzonte W), riposa un potente corpo sedimentario olocenico (Figg. 5 e 6), il cui insolito spessore si spiega con 1'abbondanza degli apporti solidi dei torrenti Segno, Quiliano e Letimbro e con 1'effetto baia operate dal Promontorio di Bergeggi che blocca gran parte del carico sedimentario in sospensione nelle correnti costiere circolanti da E a W.

Nella zona di testata del canyon la superficie W è stata coinvolta nel collasso (Fig. 4), ma pare evidente che una piccola depressione esistesse già, residue di un solco più antico non completamente colmato, o indotta dalla tettonica del Pleistocene superiore e

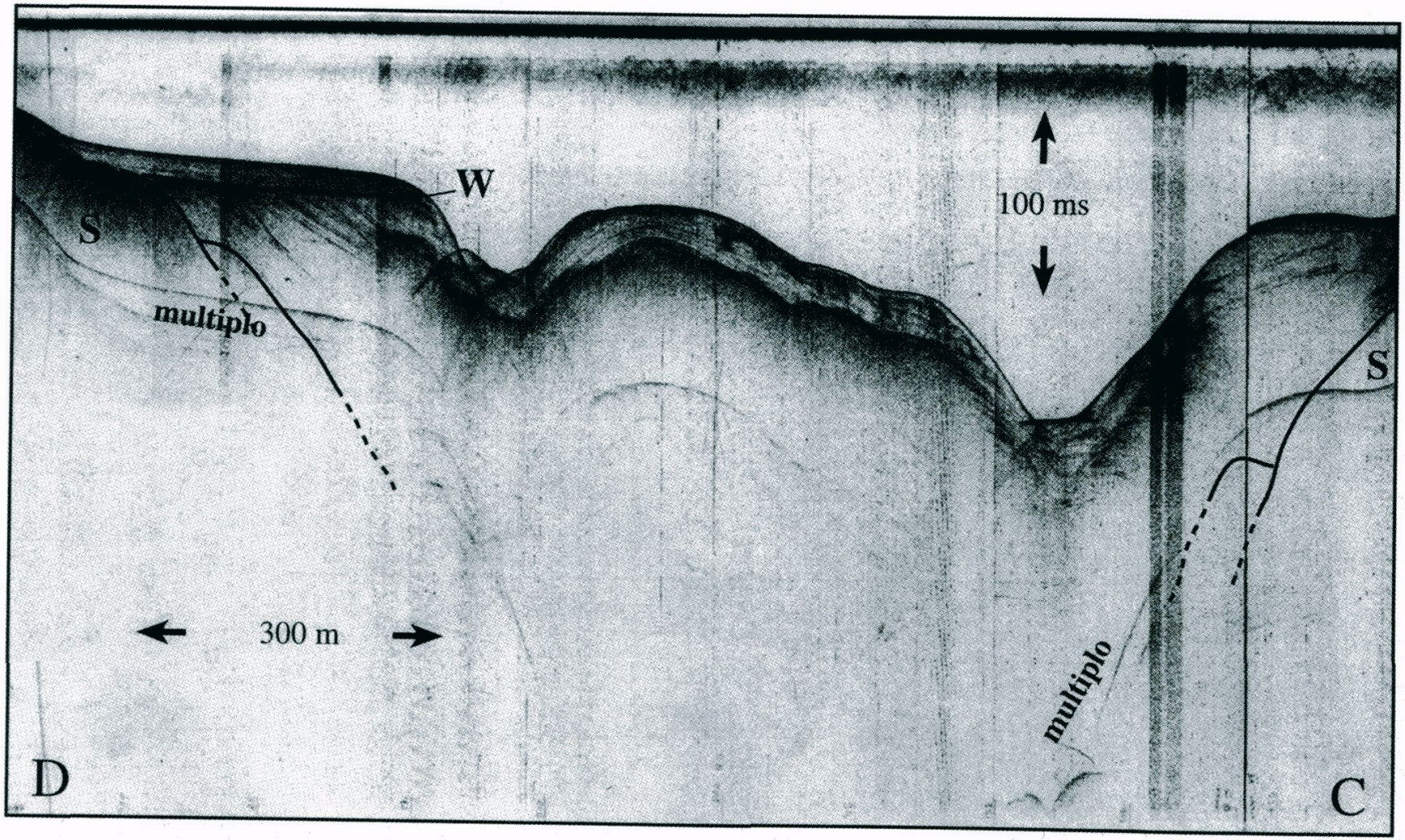


Fig. 4 - Profilo Uniboom normale all'asse del Canyon di Vado in testata; collasso tettonico-gravitativo della sequenza di colmata del graben (S = substrato acustico; W = superficie erosiva wurmiana). Per l'ubicazione vedere la figura 2.

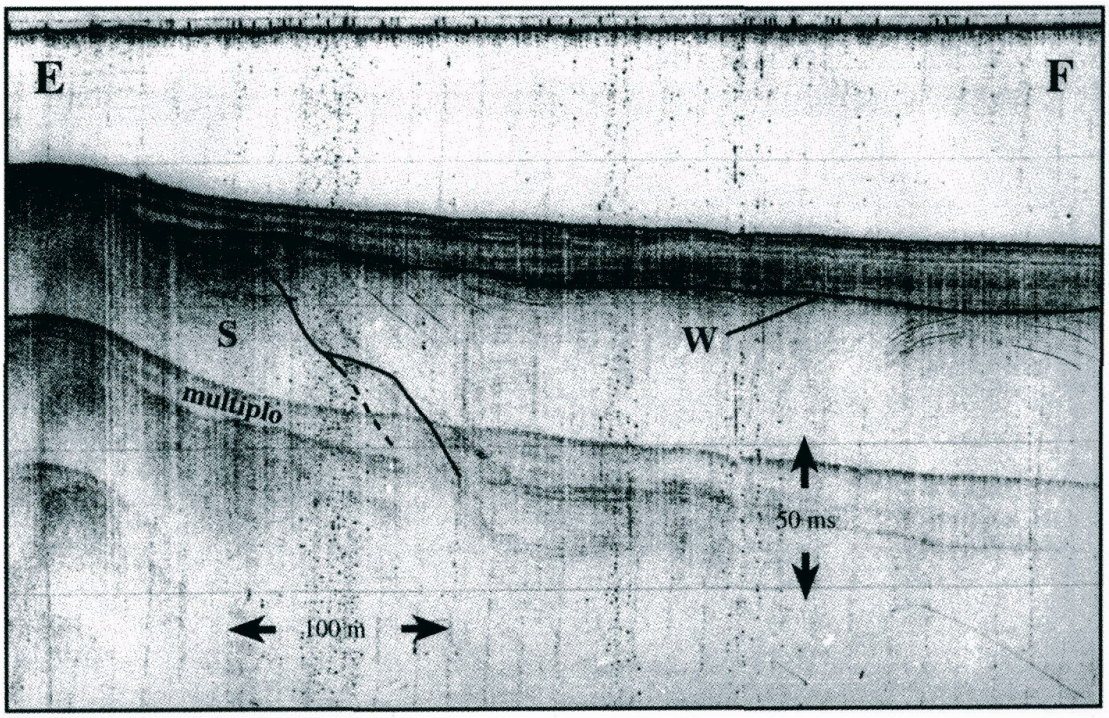


Fig. 5 - Profilo Uniboom parallelo alla costa a monte della testata del Canyon di Vado (S = substrato acustico; W = superficie erosiva wurmiana). Per l'ubicazione vedere la figura 2.

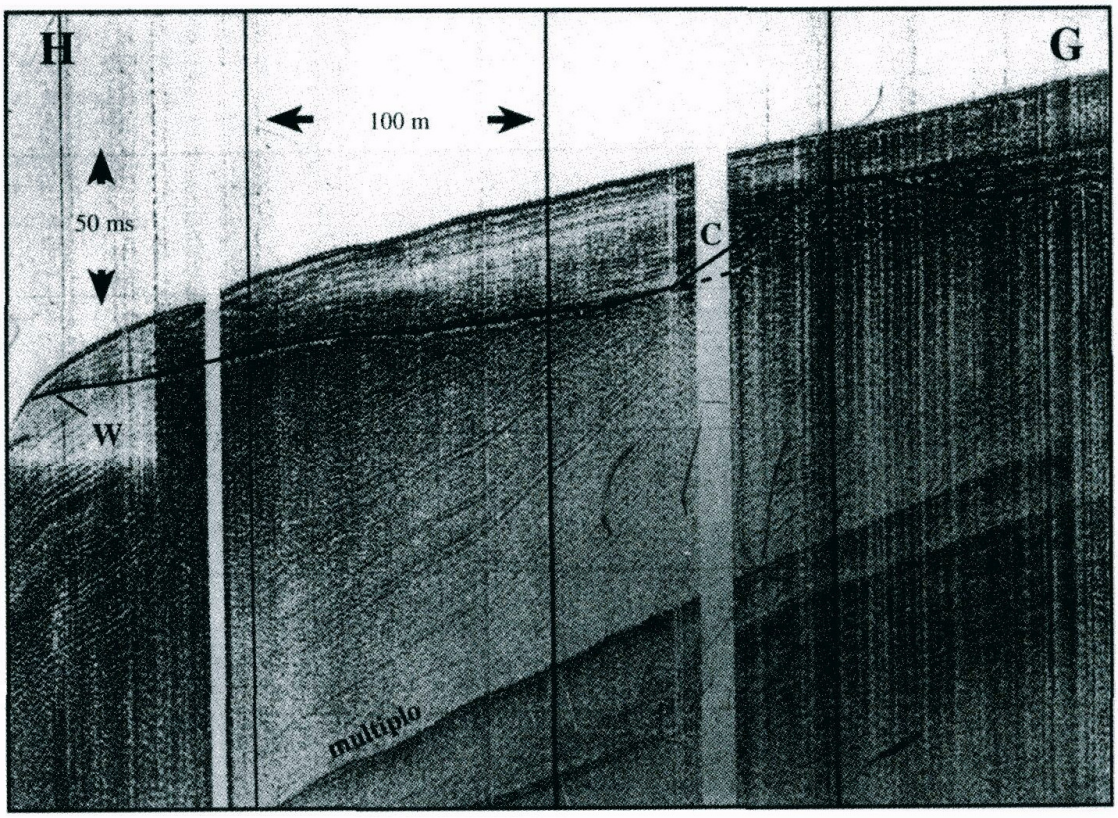


Fig. 6 - Profilo Uniboom in testata del Canyon di Vado (W = superifcie wurmiana; C = cordone litoraneo olocenico). Per l'ubicazione vedere la figura 2.

accentuata dalle correnti di torbida attive nella fase di *low standing* del livello marino; comunque i dati sismici confermano 1'origine recentissima della morfologia attuale del canyon.

Nella zona retrostante la testata la superficie in questione è regolare e tende a deprimersi leggermente al centro dell'area dove essa taglia in discordanza orizzonti già deformati da un collasso incipiente: la fenomenologia che ha attivato il canyon prosegue la sua azione e non e escluso che la testata tenda ad arretrare, avvicinandosi alla costa.

La figura 6 mostra la notevole complessità dell'accumulo olocenico, formato da corpi sedimentari a diverse caratteristiche. In particolare si nota un insieme di accumuli di materiale grossolano, a stratificazione irregolare, che costituiscono un importante saliente a morfologia di cordone costiero, che deve aver giocato un ruolo importante nella costituzione ed evoluzione di una paleopiana costiera olocenica. Solo il livello cuneiforme di materiale fine regolarmente stratificato, che sovrasta il cordone, può essere considerate il livello "attuale". Verso il ciglio della piattaforma si nota una zona di distacco incipiente di frana sottomarina e in figura 3 e rappresentata una vasta area di instabilità gravitativa nella zona di testata.

L'importanza della mobilizzazione gravitativa di grosse masse di sedimento è meglio rappresentata in figura 7, lungo il fianco orientale del canyon, che sembra anche il più attivo tettonicamente.

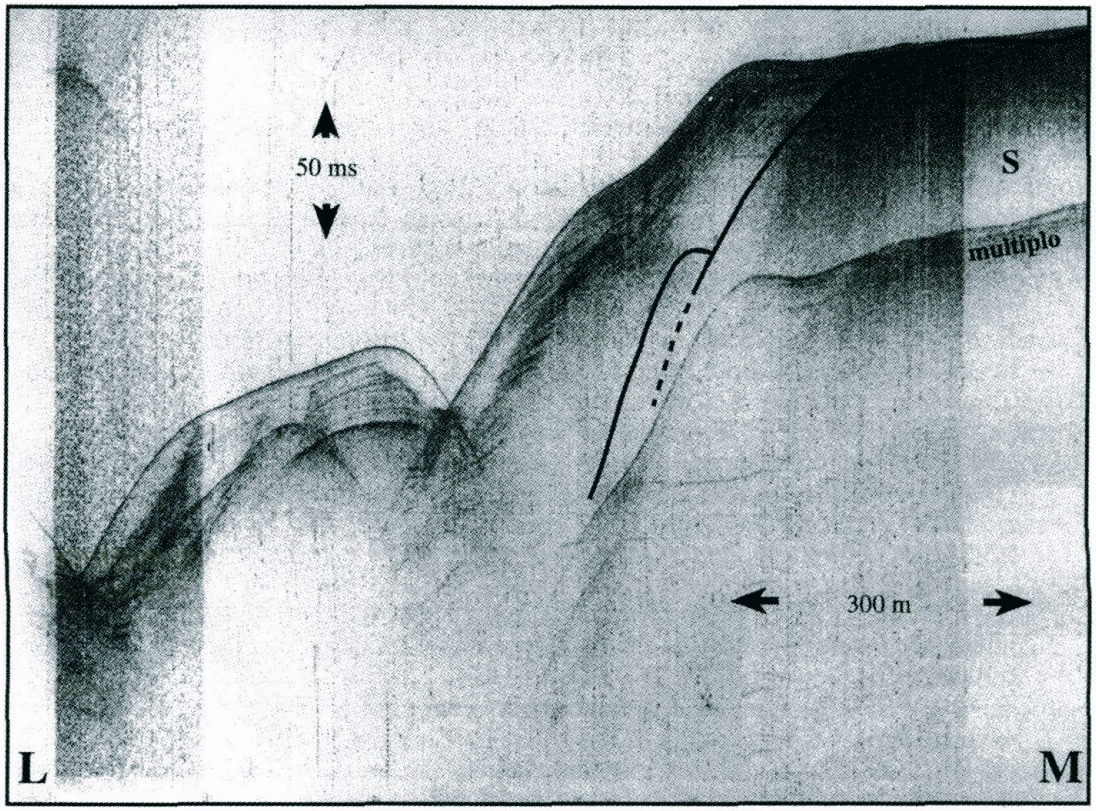


Fig. 7 - Profilo Uniboom normale all'asse del Canyon di Vado che mostra un'imponente frana sottomarina sul fianco orientale (S = substrato acustico). Per l'ubicazione vedere la figura 2.

5. CONCLUSION!

Nella situazione attuale la testata del Canyon di Vado non ha diretta relazione con la costa, ma e evidente che, anche in posizione relativamente distale, il canyon è in grado di drenare gran parte del sedimento terrigeno che alimenta la zona, sottraendolo agli equilibri della piattaforma e, in ultima analisi, della costa. Le fenomenologie di collasso tettonico e gravitativo sono ben evidenti in testata e proseguono la loro azione.

Comunque i rapporti tra il canyon e la piana costiera sottolineano il fatto che il modello della attivazione o riattivazione recente, proposto per vari canyons, si adatta particolarmente bene al caso di Vado. Difatti la piana costiera della zona ha conosciuto nel Pleistocene episodi di estensione simile o superiore all'attuale, anche nei periodi di *high standing* del livello marino, fatto difficile a realizzarsi in presenza di un canyon in continua evoluzione. Altre zone della regione hanno conosciuto situazioni simili a giudicare dai ritrovamenti paleontologici in grotta, ma i livelli sedimentari corrispondenti sono scomparsi, rimaneggiati a seguito della elevata dinamica del margine alpino.

Non si esclude che il sito in questione abbia conosciuto altre, più antiche, fasi di attività della depressione che ricetta il Canyon, ma sicuramente deve aver costituito a lungo un'area tranquilla e "protetta", sino a che la fase tettonica del Pleistocene superiore-Olocene e giunta a interessarla.

BIBLIOGRAFIA

Barbetsea, E., F. Fanucci, M. Firpo, L. Mirabile & M. Piccazzo. 1982. II Plio-Quaternario del Mar Ligure: 1) potenza e modalità di accumulo della coltre sedimentaria. *Quad. 1st. Geol. Univ. Genova,* 3, 1: 3-20, 1 carta.

Boni, A. 1984. IL Pliocene e la Neotettonica nelle Alpi Liguri. *Mem. Soc. Geol. It.,* 28: 229-265.

Boni, A., P. Boni, G.F. Peloso & S. Gervasoni. 1980. Dati sulla neotettonica di parte dei fogli S. Remo (102), Imperia (103) ed Albenga-Savona (92-93). Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, parte III.

Briano, G. 1992. Nuovi contributi alla conoscenza del Plio-Quaternario Savonese. Tesi di Laurea. Genova.

Corradi, N., P. Brandolini & M. Spotorno. 1994. Variazioni del litorale e utilizzo del suolo: il tratto costiero compreso tra Capo Vado e il Promontorio del Priamar (Liguria occidentale). Atti 10° Congr. A.I.O.L., Alassio, 4-6 nov. 1992: 233-244.

Corradi, N., F. Fanucci, G. Fierro, M. Firpo, M. Piccazzo & L. Mirabile. 1984. La piattaforma continentale ligure: caratteri, struttura ed evoluzione. Rapporto Tecnico Finale del Progetto Finalizzato "Oceanografia e Fondi Marini" del C.N.R., Roma.

Corradi, N. F. Fanucci, G. Fierro, M. Firpo, M. Piccazzo, A. Ramella & S. Tucci. 1987. Importance des canyons sous-marins dans la dynamique sedimentaire de la Mer Ligure. *Quad. 1st. Geol. Univ. Genova,* 8, 3: 73-104.

Corradi, N., F. Fanucci, G. Gallo & M. Piccazzo. 1980. La sedimentazione olocenica della piattaforma continentale ligure (Portofino - Capo Mortola), Istituto idrografico della Marina, Genova, F.C. 1097: 14 p., 2 tavv.

Fanucci, F. 1978. II plioquaternario della piattaforma continentale ligure tra Genova e Savona. Atti 2° Congr. A.I.O.L., Genova (1976): 81-87.

Fanucci, F. 1986. Evolution stratigraphique de la région du Golfe de Gênes depuis l'Eocène supérieur. *Mem. Soc. Geol. It.,* 36: 19-30.

Fanucci, F., N. Corradi, G. Fierro, M. Firpo, M. Piccazzo, A. Ramella & S. Tucci. 1987. Sismostratigrafia e neotettonica del Mar Ligure. *Quad. 1st. Geol. Univ. Genova,* 8, 3: 41-12.

Fanucci, F., G. Fierro, M. Gennesseaux, J.P. Rehault & S. Tabbo. 1974. Indagine sismica sulla piattaforma litorale del savonese (Mar Ligure). *Boll. Soc. Geol. It.,* 93: 421-435.

Fanucci, F. & G. Fierro & J.P. Rehault. 1974. Evoluzione quaternaria della piattaforma continentale ligure. *Mem. Soc. Geol. It,* 13/2: 233-240.

Fanucci, F., M. Firpo & M. Piccazzo. 1986. Sedimentary basins of the Ligurian Sea. *Bollettino di oceanologia teorica ed applicata,* vol. 4, 1: 43-54.

Pasquale, V., M. Verdoya & P. Chiozzi. 1995. Rifting and thermal evolution of the Northwestern Mediterranean. *Ann. Geof.,* XXXVIII, 1: 43-53.

Pessano, M. 1972. La geologia del Pliocene di Vado Ligure e Zinola in superficie e sottosuolo. Tesi di Laurea, Genova.

Rehault, J.P. 1981. Evolution tectonique et sédimentaire du Bassin Ligure (Méditerranée occidentale). Thèse d'état. Inedito, Université Paris VI, 138 p.

Rehault, J.P., G. Boillot & A. Mauffret. 1984. The Western Mediterranean Basin: geological evolution. *Marine Geology,* 55: 447-478.

Spotorno, M. 1996. Le trasformazioni del paesaggio litoraneo della baia di Vado dal secolo XVI ad oggi. *Istituto della Enciclopedia Italiana,* Atti XXVI Congresso Geografico Italiano, Genova, 4-5 maggio 1992.