Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 287 - 297

THE IMPORTANCE OF FRESH WATER OUTFLOW ON A STATION SITUATED IN FRONT OF THE PO RIVER (PO DI GORO)

Claus FALCONI, Stefano COZZI, Marina LIPIZER, Giulio CATALANO, Camilla MARCHIAFAVA, Eleonora TRIMARCHI, Stefano RUFFINI, Fabio VIGNES

CNR - Istituto Sperimentale Talassografico "F. Vercelli" di Trieste (ITALY)

RIASSUNTO

In questo lavoro viene descritta la situazione della stazione di campionamento S1 nell'Adriatico nord occidentale (44°44'70"N, 12°27'41"E), posta davanti allo sbocco del canale di Po di Goro, nella quale sono stati raccolti dati relativi alle componenti organiche ed inorganiche dell'azoto e fosforo totali disciolti. Questa zona di mare è interessata da importanti apporti fluviali delle acque di origine padana, che contribuiscono in modo determinante allo stato trofico del sistema. Risulta perciò particolarmente interessante mettere in evidenza l'influenza che questi apporti possono avere sui processi biochimici nell'ambiente marino costiero e tentare di fare una stima dell'utilizzo delle varie frazioni di azoto e fosforo rispetto alle quantità immesse nel sistema. Per questo motivo sono stati scelti due periodi di campionamento caratterizzati da diverse situazioni di afflusso di acqua dolce; scarso in aprile 1995 ed elevato in luglio 1995. Dai dati ottenuti si è cercato di evidenziare un bilancio dei flussi di azoto e fosforo nella stazione considerata.

Nel caso dell'azoto, si nota un forte apporto fluviale di nitrato che risulta venire rimosso dal sistema marino rispettivamente per il 30 e il 42 % nei due periodi. Risultano nello stesso tempo evidenziati gli accumuli di ammonio e soprattutto di azoto organico disciolto (DON). Questo ultimo si incrementa nella stazione di campionamento anche del 3120 % rispetto alla quantità immessa dal fiume Po.

Nel caso del fosforo, i dati presentati tendono invece ad indicare come questo potrebbe essere l'elemento carente del sistema. 11 fosfato viene infatti fortemente rimosso, fino al 92 %, mentre il fosforo organico disciolto (DOP), al contrario del DON, non riesce ad accumularsi nell'ambiente marino rispetto all'apporto fluviale.

ABSTRACT

The fractions of dissolved organic and inorganic nitrogen and phosphorus in sea water samples were monitored at the station S1, placed in front of the Po River mouth (44°44'70"N, 12°27'41"E). The aim was to extent our knowledge about the biochemical situation in an area that is highly influenced by fresh water loads by the

largest Italian river, and to estimate the portions of organic and inorganic nitrogen and phosphorus that were lost from the System due to physical and biochemical interactions.

For this purpose, we chose to examine a sampling period with scarce river outflow (April 1995) and one with greater outflow (July 1995). Despite great nutrient loads in both sampling periods, our estimates revealed that almost the whole fraction of inorganic phosphorus (up to 92 % at April) and a part of the inorganic nitrogen (30 % at April and 42 % at July) was readily consumed at the station.

Surprisingly the dissolved organic fraction of nitrogen (DON) was much greater at the station (up to 3120 % in April) than in the river water, and it constituted a conspicuous part of the total dissolved nitrogen in the study area. On the contrary, the dissolved organic fraction of phosphorus (DOP) did not accumulate in the coastal area, compared to the river water.

1. INTRODUCTION

In the years of 1995-96, four PRISMA 1 cruises of the "Biogeochemical Cycles-Project" took place in the north-western part of the Adriatic Sea. Samples were collected, with the aim to extent our knowledge about the biogeochemical situation in an area which is highly influenced by fresh water loads from the largest Italian river, the Po River. This part of the Italian coast is very important for the comprehension of the biogeochemical dynamics of the entire northern Adriatic Sea, and various studies have therefore attempted to describe different biological, chemical and physical situations and processes (Ferrari *et al.*, 1984; Franco *et al.,* 1986; Degobbis *et al.,* 1986; Giordani *et al.,* 1992; Zoppini *et al.,* 1995). The Po River watershed is very large and covers an area that is highly populated and has a very intensive industrial and agricultural activity. It has been estimated that the northern Adriatic receives as much as 50 % of the total nutrient load, and 60-70 % of the total inorganic nutrient load from the Po River (Degobbis & Gilmartin, 1990). Macroalgal blooms, due to massive nutrient loads, and following anoxic conditions have caused severe economical problems for the fishery nearby the Po Delta (Rinaldi *et al.*, 1992).

In this paper we will examine the importance of fresh water loads on the inorganic dissolved fractions of nitrogen and phosphorus (nitrate, nitrite, ammonium and phosphate), and on the concentrations of dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic phosphorus (DOP). We will present an estimate of the fractions of N and P that were removed from the System passing from the Po River mouth to the station, by the use of a simple model, in order to make a comparison with previous studies by other authors.

For this purpose we have selected the station S1 (Fig. 1) which is directly influenced by the river outflow in order to compare the periods of scarce and great outflow. These periods are corresponding to the sampling periods of April and July 1995.

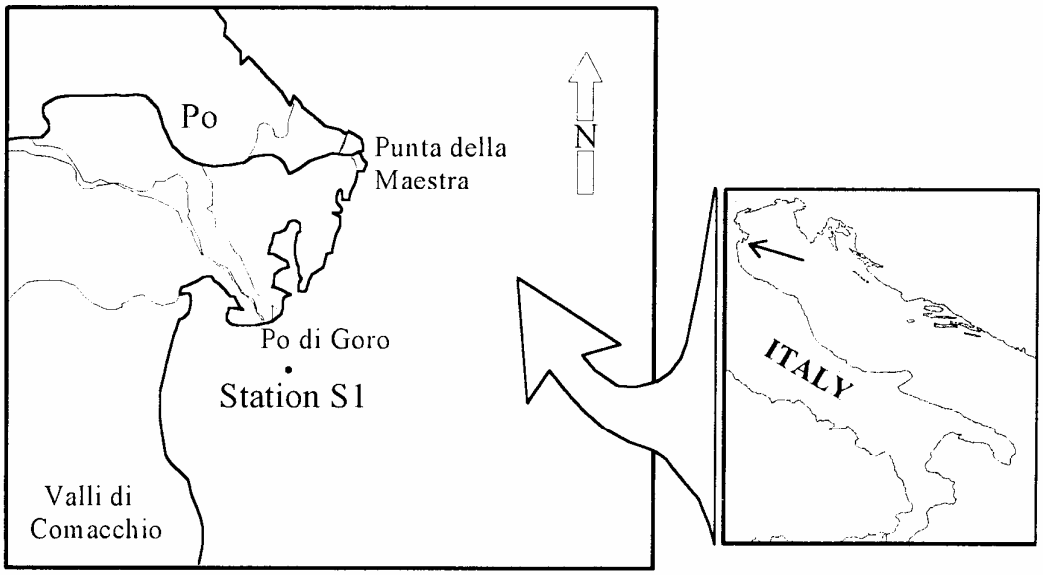


Fig. 1 - Sampling station S1 (44°44`70"N. 12°27`41"E) of the "Biogeochemical Cycles- Project".

2. MATER1AL AND METHODS

Water samples were collected on the 9-10 April 1995 and on the 10-11 July 1995 at the station S1, every 4 hour, in 5 m intervals from the surface to the bottom (20 m), by the use of Niskin bottles of 5 litres. The vertical profiles of temperature, salinity (PSU), fluorescence and light transmission were logged every 2 hour. Sub-samples for the determinations of dissolved oxygen and dissolved organic and inorganic nitrogen and phosphorus, were collected directly from the Niskin bottles Dissolved oxygen was determined according to the Winkler method (Strickland & Parsons, 1972). Samples collected for the determination of the inorganic fractions and of the DON and DOP were filtered on precombusted Whatman GF/F filters.

Nitrates, nitrites, ammonium and phosphates were determined according to the Alpkem-Perstorp *Flow Solution Methodologies* (1992). The concentrations of total dissolved nitrogen (TDN) and total dissolved phosphorus (TDP) were determined after photo-oxidation by UV and H_2O_2 (Walsh 1989), and analysed as sum of nitrites and nitrates and as phosphate, respectively. The DON and DOP concentrations were calculated subtracting the value of the total dissolved inorganic fraction from the total dissolved fraction.

3. RESULTS

We chose to consider salinity an indicator of fresh water outflow from the Po River. Sampling periods were of 2 days' intervals, in order to examine the influence of the tides on the water masses. In fact, our hypothesis is that the tide is one of the most important forcing factors which generate horizontal oscillations of the surface layer. One

can thus assume that these oscillations, measured at our fixed station S1, are comparable with those one could find examining different stations more or less distant from the river mouth. Therefore, when the tide is low the situation at the station S1 can be considered similar to a situation closer to the river mouth, because it is more influenced by fresh water of Continental origin, while when the tide is high, the situation at the station S1 can be considered more similar to a generic station placed more distant.

3.1. Estimate of fresh water outflow based on salinity

Fig. 2 shows the distribution of salinity in both sampling periods. The Y-axis represents the depth, and the X-axis the time course.

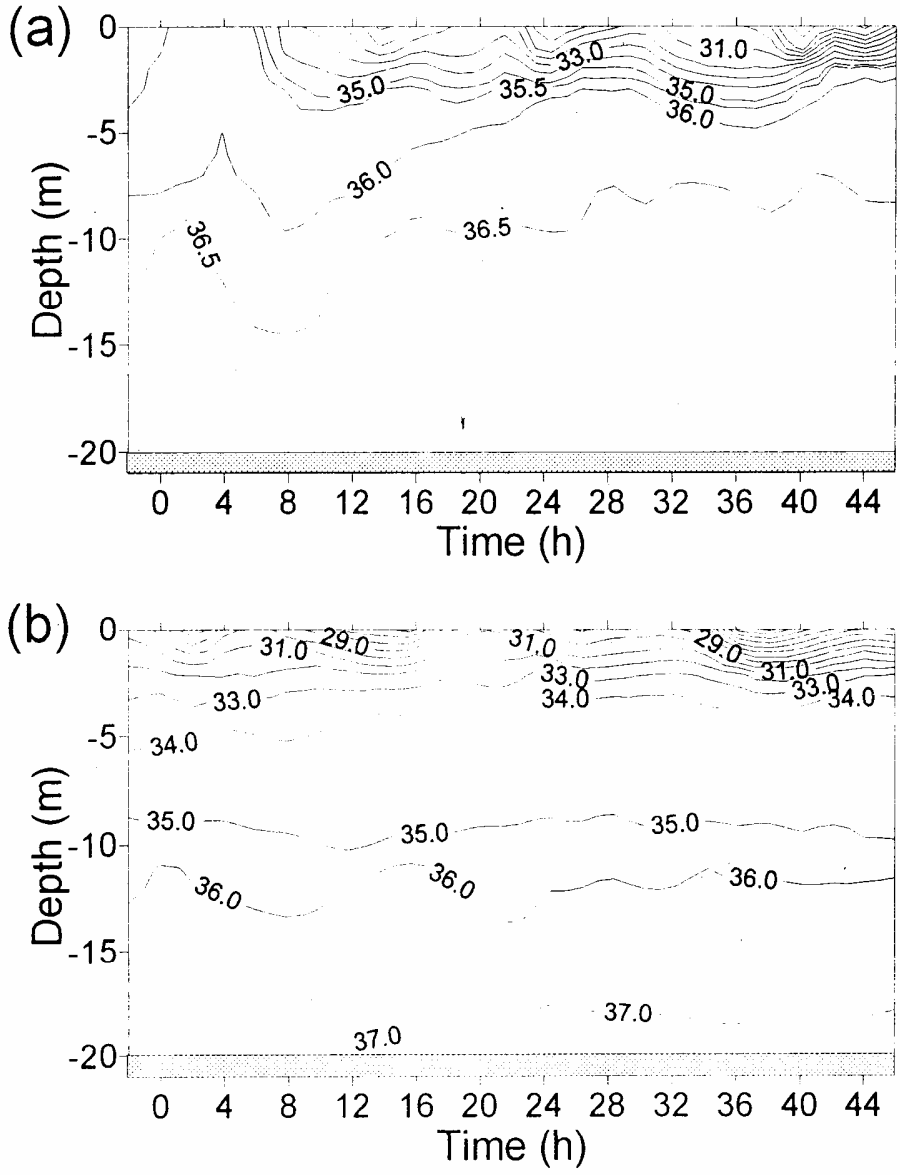


Fig. 2 - Salinity (PSU) at the station S1 during the sampling periods of April (a) and July (b)

In April (Fig. 2a), the layer with lower salinity was mainly confined in the upper water column, from the surface to 3 m of depth, with minimum values reaching 27.44, indicating a rather small fresh water outflow. In July (Fig. 2b) the fresh water penetration was more conspicuous with salinity values reaching 10.54 at the surface, and with a progressive stratification from the surface to the bottom.

The quantity of fresh water at the station, in both sampling periods, can be estimated integrating the salinity profiles of the whole water column. This calculation can be done by assigning a salinity equal to zero to the fresh water, and by assigning a salinity equal to the values found in the bottom layer to the sea water. We have found the quantity of fresh water to be 3 % at April, and 8 % at July.

3.2. Chemical characteristics of the station

In both sampling periods we have found different situations in the surface and in the bottom waters.

In April, the surface waters contained the highest concentrations of nitrates (4.6 - 36.0 µM-N), nitrites (0.32 - 1.09 µM-N) and negative values in apparent oxygen utilisation (-19.29 to -41.08 µM-AOU), indicating a supersaturation of oxygen.

The bottom waters were characterised by lower concentrations of nitrates (3.15 - 4.36 µM-N), nitrites (0.30 - 0.49 µM-N) and positive AOU values (from +12.58 to +28.23 µM). The concentration of phosphate was very low in the whole water column (less than 0.03 µM-P) and did not seem to depend on variations in salinity. Also ammonium did not seem to be directly influenced by fresh water outflow (0.63-3.13 µM-N). The concentrations of DON were higher in the surface waters (5.98 - 20.6 µM-N) than in the bottom waters (4.26 - 8.75 µM-N), while DOP was distributed with low concentrations (less than 0.34 µM-P) in the whole water column, without any apparent correlation with fresh water outflow.

In July, the fresh water outflow was greater and differences in the chemical composition between surface and bottom waters were even more clear. In the surface waters, the concentrations of nitrates (10.8 - 49.5 µM-N) and of nitrites (0.42 - 1.13 µM-N) were higher due to the river outflow. The waters contained low concentrations of phosphates (0.04 - 0.19 µM-P) and were supersaturated with oxygen (from -59.02 to -103.61 µM-AOU). The bottom waters were not saturated with oxygen (+50.76 to +156.44 µM-AOU) and contained higher concentrations of phosphates (up to 0.63 µM-P), nitrites (up to 0.46 µM-N), and especially ammonium (up to 16.52 µM-N), probably due to rimineralization processes.

In July, the concentrations of DON were usually higher (2.20 - 42.6 µM-N) than in April, while DOP concentrations were similar (0.01 - 0.36 µM-P) in both sampling periods.

In both periods, the N:P ratios were very high in the surface waters (469 and 208 respectively), and lower (28 and 29 respectively) in the bottom waters. This might indicate a disequilibrium in the biological availability between nitrogen and phosphorus in the system, probably due to heavy loads from the river.

During the sampling periods, the meteorological conditions were stable (average wind force 3.9 m/s), and the trend of the parameters considerated, were influenced by a

strong and stable water column stratification, thereby limiting any significant mixing between the surface and the bottom layer.

3.3. Data elaboration

One can try to explain the phenomena earlier described, by the use of graphics that relates the generic chemical parameter X to the salinity, as shown in the theoretical example in Fig. 3. The points at high salinity refer to the bottom waters and those at low salinity to the surface.

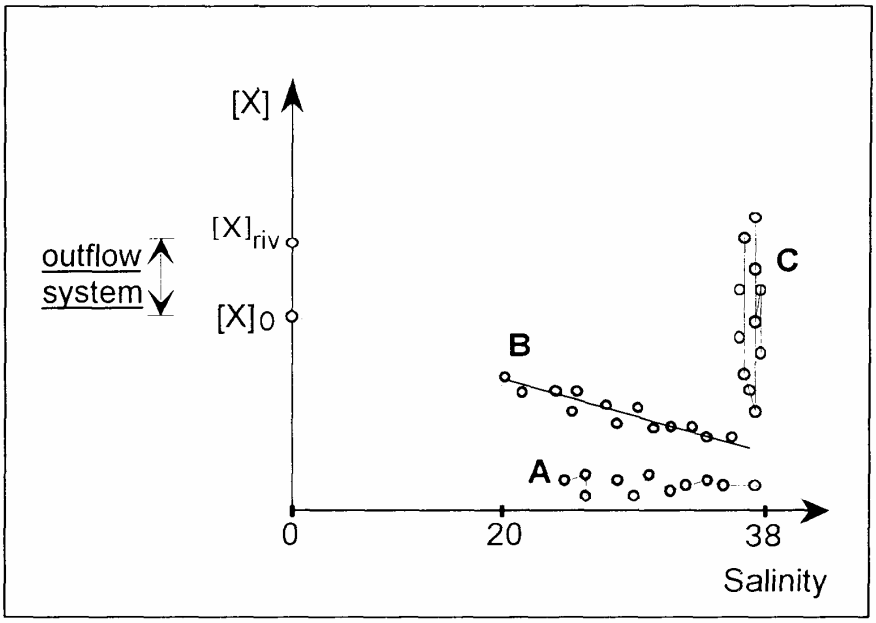
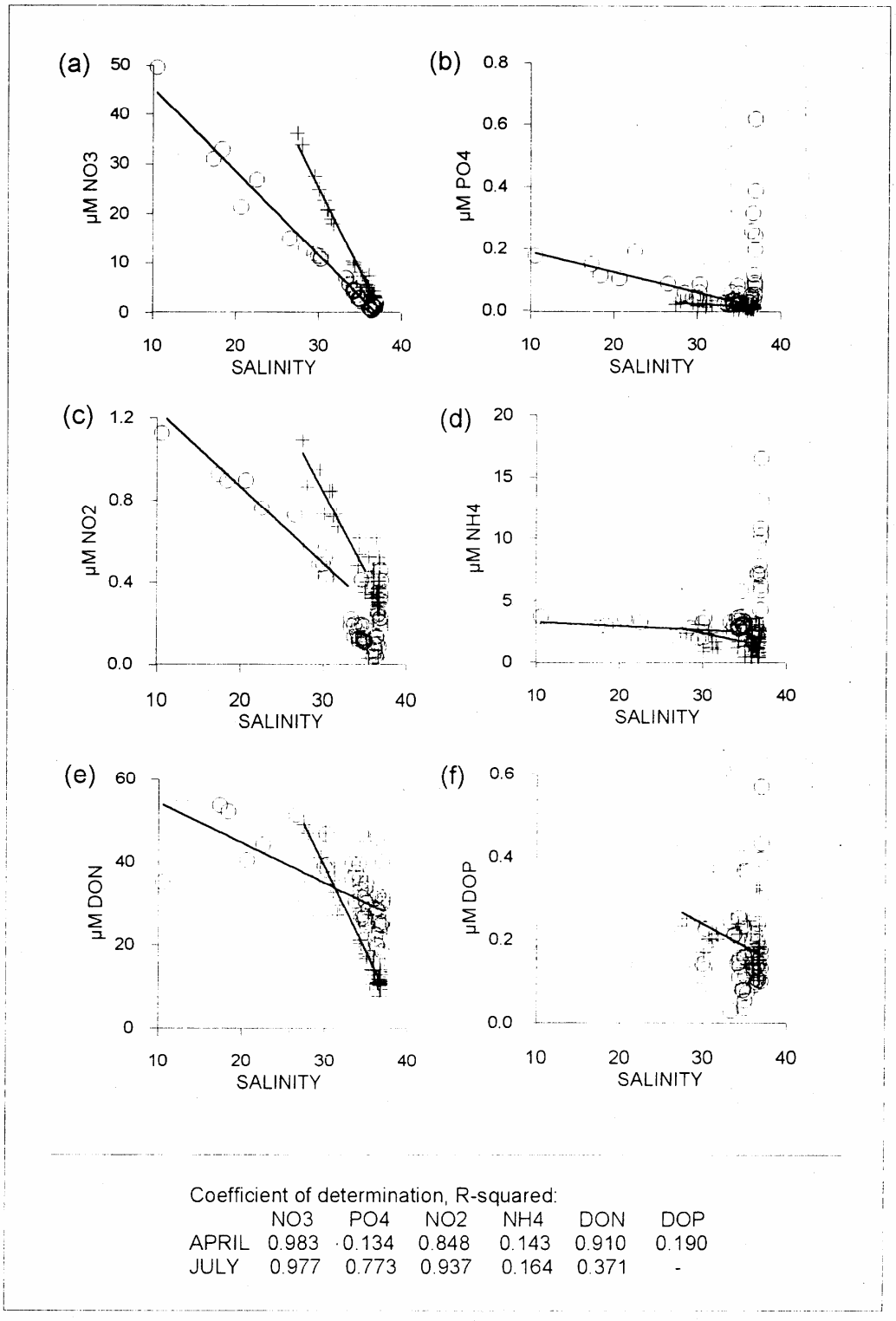


Fig. 3 - Plot of the concentration of the chemical parameter X (= nitrate, nitrite, ammonium phosphate, DON and DOP) vs salinity at the sampling station, where [X]riv is the concentration of X in water samples from the Po River, and [X]o is the concentration of X estimated by linear regression.

The concentrations of X can be more or less correlated with salinity, depending on physical (water mixing) and biogeochemical (assimilation and release of nutrients) interactions in the System.

In Fig. 3, the cases (A) and (C) are featuring a lack of correlation with salinity, because in (A), although mixing is present, the concentrations do not change and remains low due to assimilation processes, in the second case (C) the concentrations varies a lot in the same water mass, due to re-oxidation of organic matter in the bottom layer. In the intermediate case (B), there is a correlation between the [X] - parameter and the salinity, which can be fitted by a linear regression.



Coefficient of determination, R-squared:

	NO3	PO4	NO2	NH4	DON	DOP
APRIL	0.983	0.134	0.848	0.143	0.910	0.190
JULY	0.977	0.773	0.937	0.164	0.371	-

Fig. 4 - Plots of (a) nitrates, (b) phosphate, (c) nitrites, (d) ammonium, (e) DON and (f) DOP vs salinity, in the two sampling periods of April 95 (+) and July 95 (O)

If we extrapolate the regression line to salinity equal to zero, we will find the $[X]_0$ -value. This value represents the theoretical concentration that X would have in the fresh water fraction at the river mouth, if the factors that modify X behave in a linear way from the sampling station to the river mouth. Although we ignore the things that happens in the first interval of mixing (from salinity 0 to 20 in Fig. 3), the difference between the real X-value measured in the river water ([X]riv) and its calculated value ($[X]_0$) represents an estimate of the amount of X that has been lost or gained to the System because of physical and biochemical interactions.

We have elaborated our data in a similar way. The Fig. 4 shows the dissolved organic and inorganic forms of nitrogen and phosphorus vs salinity at the station and the coefficients of determination (r^2) of the regression lines. In all the plots it is possible to distinguish some data-points, that can be fitted by the use of a linear regression technique. These points are usually corresponding to the surface layers that are distinguishable form bottom layers due to the strong stratification of the water column. The only exception is the case of the DOP at July (Fig. 4f) where $[X]_0$ is estimated as a simple average, because of the great dispersion of points.

In April, it is interesting to notice the rather linear appearance of the nitrates (Fig. 4a), in the whole water column (B- type behaviour). The phosphate concentrations are very low with a trend more similar to the theoretical A-type, probably due to strong biological assimilation. In the surface layers, the nitrites (Fig. 4c) are featuring a linear behaviour similar to the B-type, while the ammonium (Fig. 4d) is similar to the A-type. In the same sampling period, also the DON (Fig. 4e) is strongly correlated with the salinity, with a linear appearance that determines a very high $[X]_0$-value. The concentrations of the DOP (Fig. 4f) are low, and are the least correlated with salinity.

At July, one can also notice a very linear appearance of the nitrates (Fig. 4a). The nitrate is in fact the fraction mostly affected by the outflow from the Po River. All the other fractions (Fig. 4b, e, d, e, f) are featuring a similar appearance to the one described in paragraph 3.2, and it is easy to distinguish two different situations: the points of the surface layer are linear with salinity (phosphates, nitrates and DON are of the B-type, and ammonium is of the A-type), while the points of the bottom layers are strongly influenced by biological processes (C-type).

4. DISCUSSION

The Tab. 1 shows the results obtained by the linear regression techniques earlier described. Using these data, one can make a comparison between the real concentrations in the Po River water ([X]riv) sampled in the same periods (Camusso, 1RSA Brugherio, *pers. comm.),* and those estimated by linear regression $[X]_{(0)}$. The difference in percent ($\Delta\%$) is calculated using the formula:

$$\Delta\% = \frac{[X]_0 - [X]_{riv}}{[X]_{riv}} \cdot 100$$

In Tab. 1, one can see that at April, the phosphate is almost completely consumed (-92 %), compared to the levels found in the river water, while the DOP concentrations remains Constant in lime. The nitrate is consumed (-30%), but remains always at high concentrations due to the heavy loads from the Po River. It is very interesting to notice that the concentrations of both ammonium and DON increase at the station compared to the river water, the former with 250 %, the latter, even with 3 120 %.

In July the phosphate concentration decreases very much (-69 %), but contrary to April, also the DOP is very reduced (-76%). The nitrate and the ammonium are featuring the same trends as at April, with variations of-42 % and +186 % respectively. In this period, the DON is once again presenting much higher concentrations at the station, than in the river water (+2947 %).

Tab. 1 - Concentrations (µM) of the organic and inorganic fractions of the nitrogen and phosphorus in water samples from the Po River ($[X]_{riv}$), estimated by linear regression at the station ($[X]_0$) and difference in percent (Δ%).

Cruise		PO4 µM-P	DOP µM-P	NO3+NO2 µM-N	NH4 µM-N	DON µM-N
April 95	$[X]_{riv}$	1.19	0.61	183	2.0	5.0
	$[X]_0$	0.1	0.6	128	7	161
	Δ%	-92 %	-2 %	-30 %	+250 %	+3120 %
July 95	$[X]_{riv}$	0.97	0.42	111	1.4	2.1
	$[X]_0$	0.3	0.1(*)	64	4	64
	Δ%	-69 %	-76 %	-42 %	+186 %	+2947 %

(*) average of all data

The estimates in Tab. 1 seems to indicate that the organic fractions of N and P are important for the dynamics in the study area. For this reason, the Tab. 2 shows the organic and inorganic composition in percent, of the total dissolved nitrogen and phosphorus. The data in this table are integrated values of the mean profile of the sampling periods. It is interesting to notice that the DOP and the DON are constituting a conspicuous part of the total dissolved fractions at the station, with values that varies from 47 %, in the case of the DON, to 91 % in the case of the DOP.

Tab. 2 - Organic and inorganic composition (%) of the total dissolved nitrogen and phosphorus with DIP=dissolved inorganic phosphorus, DOP=dissolved organic phosphorus, DIN=dissolved inorganic nitrogen, DON=dissolved organic nitrogen.

Cruise	DIP	DOP	DIN	DON
April 95	9 %	91 %	53 %	47 %
July 95	36 %	64 %	28 %	73 %

5. CONCLUSION

It has already been pointed out by other authors, that the Po River is a very important source of inorganic nitrogen and phosphorus to the Adriatic Sea. Our data are confirming that physical processes, like the river outflow and the tides, are affecting the coastal environment, but they are also indicating that biochemical processes are as important, in determining the dynamics of this area. In this paper we have emphasised particularly on the later aspect. These biochemical processes might determine a rapid decline in the inorganic phosphorus content (reaching -92 %) and in the nitrogen content (reaching -42 %), from the river to the coastal area. The different rate by which the phosphorus and the nitrogen seem to be consumed, is also determined by the strong disequilibrium between their concentrations (N:P ratio up to 469) in the surface layers, more influenced by the river outflow.

Regarding the organic fractions, the concentration of DOP in the coastal area is similar to that found in the river water. Some times it is even less, suggesting a possible consume of the dissolved organic phosphorus due to rimineralization processes. The DON, on the contrary, surprisingly constitutes a conspicuous part of the total dissolved nitrogen at the station, with concentrations much higher than in the river water (up to +3120 %). This accumulation might also be determined by a higher turn-over rate of phosphorus compared to nitrogen in processes related to the phytoplanktonic and bacterial production.

The data presented in this paper are not only suggesting the inorganic nutrients, but also the DOP and the DON are important for the understanding of the dynamics of the coastal area near the Po River. The DON and DOP pools are the product of different biological processes like the phytoplanktonic production of exudates and grazing, and are fundamental! for the bacteriological recycling of N and P in the coastal System. Further studies are needed to fully understand these dynamics, in order to be able to explain the processes of the whole northern Adriatic basin.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the “Istituto di Biologia del Mare” of Venice for the data set regarding salinity and dissolved oxygen, and to Dr. M. Camusso of the “Istituto di Ricerca Sulle Acque” of Brugherio for the data regarding the inorganic nutrients, the DOP and the DON from the Po River.

REFERENCES

ALPKEM. 1992. Mitrate + Nitrite and nitrite in Sea water. *The Flow Solution Methodology.* Doc. No. 000630, 8/92 Rev. B, 19 pp.

ALPKEM. 1992. Orthophosphate in Sea water. *The Flow Solution Methodology.* Doc. No. 000629, 4/92 Rev, A, 16pp.

Degobbis D. & Gilmartin M. 1990. Nitrogen, phosphorus, and biogenic silicon budgets for the northern Adriatic Sea. *Oceanologia Acta* 13, 1: 31-45.

Degobbis D., Gilmartin M. & Relevante N. 1986. An annotated nitrogen budget calculation for the northern Adriatic Sea. *Mar. Chem.,* 20: 159-177.

Ferrari I., Matteucci G. & Menozzi P. 1984. Risalita del cuneo salino e variabilità dello zooplancton nel tratto terminale del Po Di Pila. *Atti 6° Congresso Aiol.*

Franco P., Rabitti S. & Bodrin A. 1986. Distribuzione del particellato ed idrologia nell'Adriatico settentrionale. *Atti 7° Congresso Aiol.*

Giordani P., Hammond D.E., Berelson W.M., Poletti R, Rabbi E. & Lucchini F. 1992. Sediments diagenesis and its effect on nutrient cycling in NW Adriatic Sea. *Atti 10° Congresso Aiol.*

Rinaldi A., Montanari G., Ferrari C.R. & Ferrari A. 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro Lagoon (Italy). In: Marine Coastal Eutrophication (Vollenweider R.A., Marchetti R & Viviani R. Eds.) Elsevier Science Publishers B.V. reprint from *Science of the Total Environment. Supl.* 457-470.

Strickland J.D.H. & Parsons T.R. 1972. A practical handbook of sea water analysis *Fish. Res. Bd Canada. Bull.,* 167, 2nd ed., 3 1 I pp.

Walsh T.W. 1989. Total dissolved nitrogen in Sea water: A new- high-temperature combustion method and a comparison with photo-oxidation. *Mar. Chem* 26 295-311.

Zoppini A., Pettine M., Totti C., Puddu A., Artegiani A. & Pagnotta R. 1995. Nutrients, standing crop and primary production in western coastal waters of the Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (41): 493-513.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 299 - 310

SHORT-TERM CHANGES IN THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF PARTICULATE ORGANIC MATTER IN A MEDITERRANEAN SHALLOW SOUND (WESTERN SICILY)

Antonio PUSCEDDU[1], Gianluca SARÀ[2], Elena MANINI[1], Egidio PUCCIA[2]

[1] Cattedra di Ecologia, Università di Ancona, Via Brecce Bianche, 60131, Ancona
[2] Istituto di Zoologia, Università di Palermo, Via Archirafi, 18, 90123, Palermo

RIASSUNTO

Presso lo Stagnone di Marsala (Sicilia Occidentale), furono prelevati in Gennaio, Aprile, Luglio e Novembre 1994 campioni d'acqua in due stazioni. Il prelievo dei campioni fu effettuato ogni 4 ore fino a coprire un intero ciclo giornaliero. Ad ogni prelievo furono inoltre misurati temperatura, salinità, pH ed ossigeno disciolto. Sul materiale particellato furono dosati pigmenti clorofilliani, proteine, carboidrati, lipidi, materiale sospeso totale. Temperatura e salinità hanno presentato evidenti ritmi giornalieri. L'area di studio si presenta come un sistema "pulsante" nel quale le variazioni a breve termine di anche una sola delle variabili ambientali può modificare totalmente lo scenario fisico. I cambiamenti nella quantità della materia organica particellata sono risultati dipendenti maggiormente dalle fluttuazioni stagionali che non da ritmi circadiani con la sola eccezione del mese di Gennaio. In quest'ultimo caso, a causa di un eccezionale evento di risospensione dei sedimenti indotta dai venti del quarto quadrante, tutte le variabili inerenti il particellato organico hanno reagito con un ritardo estremamente ridotto. Il materiale risospeso era per lo più di origine proteica suggerendo così che i sedimenti nello Stagnone di Marsala siano assai ricchi di una frazione labile. Il sito appare, comunque, oligotrofo (in media <1.0 µg CHL-a 1^{-1}). La mancanza di adeguate quantità di materiale "fresco" di origine fitoplanctonica insieme con il basso valore calorico del particellato possono parzialmente spiegare la quasi totale mancanza di una comunità di sospensivori nello Stagnone di Marsala.

ABSTRACT

Water samples were collected in the Stagnone di Marsala Sound (Western Sicily) in two stations on January, April, July and November 1994. Samples were collected every four hours and covered an entire daily cycle. At the same time temperature, salinity, pH and oxygen were measured. Concentrations of. chlorophyll-a, phaeopigments, proteins, carbohydrates, lipids and total suspended matter were

determined. Daily rythms were evident for all the environmental variables measured, particularly for temperature and salinity. The study site appears as a "pulsing" ecosystem in which short-term fluctuations of the main environmental variables may drastically change the physical scenery of the whole basin. Changes in quantity of particulate organic matter were mainly related to seasonal fluctuations rather than daily rythms with the exception of January when, owing to an important event of sediment resuspension, concentrations of all the POM parameters drastically increased and fluctuated in a short-time lag. A great fraction of resuspended particles was protein-enriched suggesting that sediments in the Stagnone Sound are particularly rich of labile compounds. The oligotrophy of the site was confirmed by very low values of the CHL-*a* concentrations (on average lower than 1.0 μg H). The scarcity of fresh phytoplankton-deriving suspended matter coupled with the quite low calorie value of POM may explain the lack of infaunal suspension-feeder communities in the Stagnone Sound.

1. INTRODUCTION

In aquatic environments short-term changes in physical (Millet & Cecchi, 1992, Alpine & Cloern, 1992) and biological factors (Albertelli *et al,* 1994; Fabiano *et al,* 1995) play a primary role in affecting the quantity and quality of suspended particulate matter. The main consequence of such changes is an often unpredictable high temporal variability of the food resources for consumers (Fegley *et al,* 1992).

Due to the high energy fluxes from P.A.R. *(Photoxynthetically Active Radiation)* and non-PAR sources, shallow waters systems such as ponds, sounds and coastal lagoons, are characterised by high primary and secondary production rates. In such environments, primary production from phytoplankton, macrophytes and saltmarsh plants exceeds consumption by herbivores. This organic matter may be directly available to consumers but, in most cases, needs to be fragmented and processed through decomposer pathways to become rapidly digestible (Hansen *et al.,* 1992). The main result of such decomposition processes is the presence of large quantities of particulate phytodetritus, which nutritional value may reach the same degree of living phytoplankton (Pusceddu & Fabiano, 1996).

Several investigations have analysed the particulate organic carbon and nitrogen content (Smaal *et al,* 1986; Roy *et al,* 1991) or the size of the suspended particles (Mayer *et al.*, 1993; Arfi & Bouvy, 1995).

Recently, an increasing number of papers has been dealt with the biochemical composition of particulate organic matter in different natural environments (Poulet *et al,* l986;Mayzaudef«A, 1989;Fichez, 1991 a, b; Roy *et al,* 1991; Fabiano *et al,* 1993; Navarro *et al,* 1993). However, only few information is available on short-time scale changes of the biochemical composition of particulate organic matter in Mediterranean lagoons (Sarà *et al,* 1995; Pusceddu & Fabiano, 1996).

In this paper we have analysed short-time and seasonal changes in the biochemical composition of particulate organic matter in the Stagnone di Marsala Sound.

The aim of this work was to clarify which time lag among short-term (daily) and seasonal mainly affects the quantity and the quality of particulate organic matter.

2. MATERIALS & METHODS

2.1. Study area and Sampling

The study was carried out in the Stagnone di Marsala Sound (Fig. 1), a shallow depression with a 7 km N-S axis. Water depth ranges between 0.2 and 0.5 m in the northern area and increases to 2.5 m in the southernmost area. The northern and the southern mouths are 450 and 1400 m wide respectively; the latter is even open to a sea water inflow.

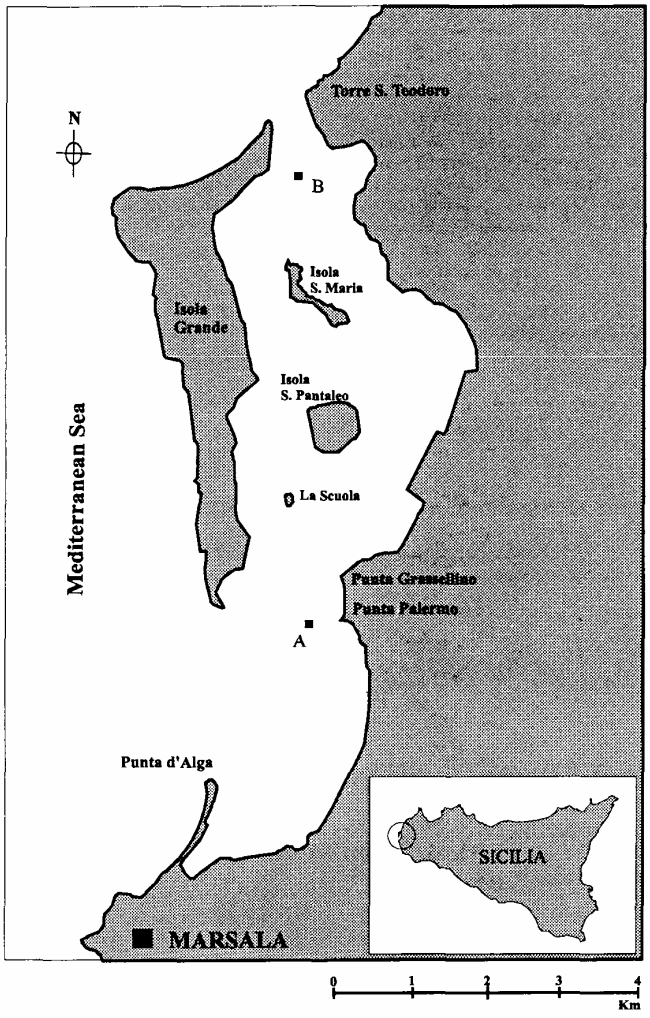


Fig. 1 - The study area and sampling sites

Superficial water samples were collected using 10-litre PVC bottles at two stations (sta. A and sta. B, namely P.ta Palermo and S. Teodoro, respectively) on January, April, July and November 1994. Water samples were collected every four hours in order to cover an entire daily cycle. Water temperature, salinity, dissolved O_2 and pH were measured using a multiparametric probe. All water samples were pre-screened through a 200 µm mesh net in order to avoid gross detritus particles.

For total suspended matter and chlorophyll-a analyses, aliquots (100-1000 ml) of the sample were filtered onto Whatman GF/F glass-fibre filters (0.45 µm nominal pore size). For the analyses of particulate proteins, lipids and carbohydrates, water sample aliquots (50-1000 ml) were filtered onto Nuclepore filters (0.4 µm pore size).

2.2. Chemical Analyses, Food Indexes and Statistical Analyses

Total suspended matter concentrations were determined gravimetrically (Strickland & Parsons, 1972). The filters were weighed after dessication (3 h, 60°C) using a Mettler M3 balance (accuracy ± 1 µg). The percentages of organic and inorganic fractions were measured by loss on ignition (450°C, 2h).

Chloroplastic pigments extraction was carried out in 90% acetone. After centrifugation, chlorophyll-a concentrations were calculated according to Lorenzen and Jeffrey (1980). Phaeopigments were spectrofotometrically measured after acidification of the surnatant with 0.1 N HC1.

All filters for the analyses of carbohydrates, proteins and lipids were sonicated for two hours in 1 ml of distilled water in order to detach particles from the filler.

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); albumin 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. Variation coefficients for protein, carbohydrate and lipid analyses were respectively 6.6, 6.0 and 7.8 %.

The readily available fraction of the particulate organic matter (POM) was estimated as the sum of carbohydrates, proteins and lipids (Pusceddu & Fabiano, 1996). The POM/TSM ratio was utilised as a food index, *i.e.* estimate of the nutritional value of suspended matter (Navarro *et al.,* 1993; Pusceddu & Fabiano, 1996). The caloric value of POM was calculated as reported by Winberg (1971).

Statistical analyses (ANOVA and *t*-Test) were performed using the Statistica Software.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The Stagnone di Marsala Sound as a pulsing environment

Temperature, salinity, pH and dissolved oxygen daily and seasonal values are reported in Tab. 1.

Tab. 1 - Daily averaged temperature (T), salinity (S), dissolved oxygen (O_2) and pH in the Stagnone Sound.

Station A	T (°C)	S (‰)	O_2 (ppm)	pH (unit)
January	13.30	36.72	11.96	8.33
April	18.67	43.10	9.38	8.81
July	27.83	42.06	6.16	8.86
November	20.18	38.19	7.36	8.54
Station B	**T (°C)**	**S (‰)**	**O_2 (ppm)**	**pH (unit)**
January	13.75	34.89	12.67	8.24
April	18.45	38.13	10.33	8.67
July	28.31	38.65	6.42	8.84
November	19.94	38.87	7.38	8.49

Temperature mean values ranged between 13.3 (January, sta. A) and 28.3 °C (July, sta. B). The daily cycle of temperature was similar in both stations and was typical at each season, with exception of November when the highest values were recorded during the night, owing to the presence of high speed hot winds blowing from the south.

The salinity was significatively higher at sta. A (t-Test; $p < 0.001$)

and showed mean values ranging between 34.9 (January, sta. B) and 43.1 (April, sta. A). No significative daily changes occurred with the exception of July at Sta. A.

Dissolved oxygen showed, obviously, lower concentration in summer (6.3 ppm on average) than in winter (12.4 ppm on average). Daily rythms were quite evident in both stations.

Mean values of pH were higher in July (8.9 and 8.8 at sta. A and sta. B respectively) and lower in winter (8.2 on average). Owing to the dark-light cycle of the utilisation of dissolved oxygen and consumption of CO_2, pH showed significant daily rythms with higher values during the daylight hours.

Significant differences (ANOVA, $p<0.01$) occurred between the two sampled stations only in winter and summer, for both temperature (respectively 13.1 and 29.7 °C) and salinity (respectively 34.6 and 44.2). By contrast no significant differences were found for pH and dissolved oxygen.

This uncoupling between environmental variables, typical for other shallow water Mediterranean systems (Pusceddu & Fabiano, 1996), may be suggested as an evidence of the fact that the Stagnone di Marsala Sound is likely a "pulsing" System in which single or occasional pulsation of one of the main environmental variables may drastically change the physical characteristics of this water body.

3.2. Short-term vs. seasonal changes in affecting quantity and quality of POM

Total suspended matter concentrations (TSM; Fig. 2) ranged between 1.1 and 125.3 mg l^{-1}. Mean values were much higher in January (3.3 and 80.7 mg H at sta. A and sta. B respectively) and showed no clear daily rythms in the other seasons. Higher TSM concentrations were found at sta. B, especially in January when values were up to 35 times higher than those measured in the other periods. This difference was due to the sediment resuspension induced by southern wind.

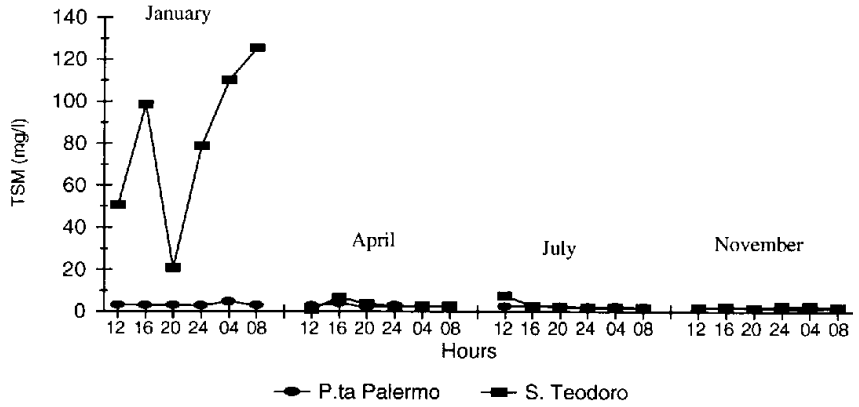


Fig. 2 - Daily and seasonal changes of total suspended matter (TSM) concentrations (mg l^{-1}) in the Stagnone Sound. P.ta Palermo and S. Teodoro are geographical names of sta. A and sta. B, respectively.

Although no direct measures of water currents or downward fluxes of particulate matter are available for the study area, this result highlights that sediment resuspension,

mainly induced by wind and forced by shallow depths, may drastically affect the quantity of suspended particulate matter in the Stagnone Sound.

Chlorophyll-a (CHL-*a*) concentrations were very low (0.9 µg l^{-1} on average; Fig. 3) at each date of sampling with exception of sta. B on January when, due to the resuspension of sediments, deposited phytodetritus and/or microphytobenthos increased the suspended pool of chloroplastic pigments.

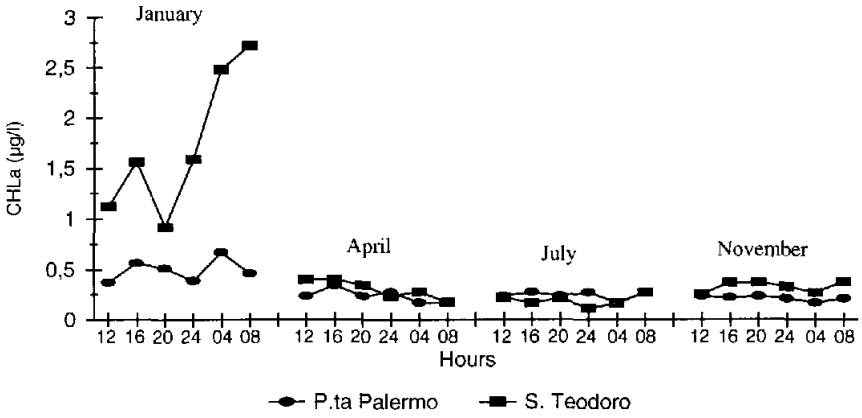


Fig. 3 - Seasonal and daily changes of chlorophyll-a (CHL-a) concentrations (µg l^{-1})in the Stagnone Sound. P.ta Palermo and S. Teodoro are geographical names of sta. A and sta. B, respectively.

No clear daily rythms were observed for chloroplastic pigments, with the exception of January when, owing to the resuspension of phyto-material, the concentrations of CHL-a and Phaeo drastically increase (up to two-fold) from a day to another.

Tab. 2 - Daily averaged concentrations (µg l^{-1}) of particulate proteins, carbohydrates and lipids in the Stagnone di Marsala Sound. Reported is also the daily range measured at each sampling date.

Station A	**Proteins**	**Carbohydrates**	**Lipids**
January	212.5	207.4	69.4
	(112-430)	(49-853)	(31-125
April	180.1	63.9	74.0
	(88-229)	(25-145)	(38-97)
July	802.3	37.2	7.3
	(710-907)	(13-66)	(2-18)
November	28.5	39.9	7.5
	(16-39)	(22-61)	(1-28)
Station B	**PRT**	**CHO**	**LIP**
January	887.0	508.3	263.2
	(185-1584)	(22-913)	(168-525)
April	213.4	110.0	80.5
	(21-366)	(54-193)	(46-159)
July	793.3	48.3	2.6
	(562-978)	(12-120)	(2-4)
November	52.8	72.6	7.7
	(32-63)	(37-147)	(3-22)

At each season CHL-*a* concentrations were higher at sta. B than at sta. A, suggesting that, in the latter, with the exception of occasional sediment resuspension events, the synergetic action of dilution by seawater and sedimentation processes determine an evident impoverishment of the phytoplankton stock, which, in quantitative terms, appeared comparable with that of the open sea (Pusceddu *et al.*, 1997). Concentrations of the main biochemical components of POM in the Stagnone di Marsala Sound are reported in table 2.

Concentrations of proteins, carbohydrates and lipids in the Stagnone di Marsala sound were quite high if compared with coastal marine areas but similar to those found in estuarine or lagoonal sites (tab. 3).

Tab. 3 - Concentrations of particulate carbohydrates (CHO), proteins (PRT), lipids (LIP) and their sum (POM) in different coastal areas.

Area (Depth)	CHO ($\mu g\ l^{-1}$)	PRT ($\mu g\ l^{-1}$)	LIP ($\mu g\ l^{-1}$)	POM ($\mu g\ l^{-1}$)	Authors
Western Mediterranean (0-200 m)	33-88	72-105	37-51	143-246	Fabiano *et al.*, 1984
Sicily Channel(0-500 m)	36-118	21-122	35-185	109-342	Fabiano *et al.*, 1987
Gulf of Naples (0 m)	16-271	23-310	8-630	60-1823	Fabiano, 1994
Western Mediterranean (10 m)	1-75	4-77	4-104	15-220	Fichez, 1991b
Bedford Basin, Canada (2.5 m)	160-630	200-650	130-440	660-1570	Mayzaud *et al.*, 1989
Yaldad Bay, Chile (10 cm a.b.)	50-1050	300-2250	30-560	310-2960	Navarro *et al.*, 1993
Logy Bay Newfoundland (6 m)	8-120	80-740	20-75	130-1030	Navarro & Thompson, 1995
S. Gilla lagoon (1 m)	137-5687	69-5046	34-6427	817-11132	Pusceddu *et al.*, 1996
Stagnone di Marsala	37-508	29-887	7-263	70-1650	This study

Proteins mean concentrations ranged between 28.5 (November) and 802.3 $\mu g\ 1^{-1}$ (July) at sta. A and between 52.8 (November) and 887.0 $\mu g\ 1^{-1}$ (January) at sta. B. Carbohydrates reached their maximum concentration in January (on average 207.4 an 508.3 $\mu g\ 1^{-1}$ at sta. A and sta. B respectively) and their minimum in July (37.2 and 48.3 $\mu g\ 1^{-1}$ at sta. A and sta. B respectively). Lipid concentrations, which appeared very low, reached their maximum concentration in April at sta. A (on average 74.0 $\mu g\ 1^{-1}$) and in January at sta. B (on average 263.2 $\mu g\ 1^{-1}$). Lowest average concentrations were recorded for both stations in July (7.3 and 2.6 $\mu g\ 1^{-1}$ at sta. A and sta. B respectively).

No clear daily rythms were evident for POM, with exception of January (Fig. 4).

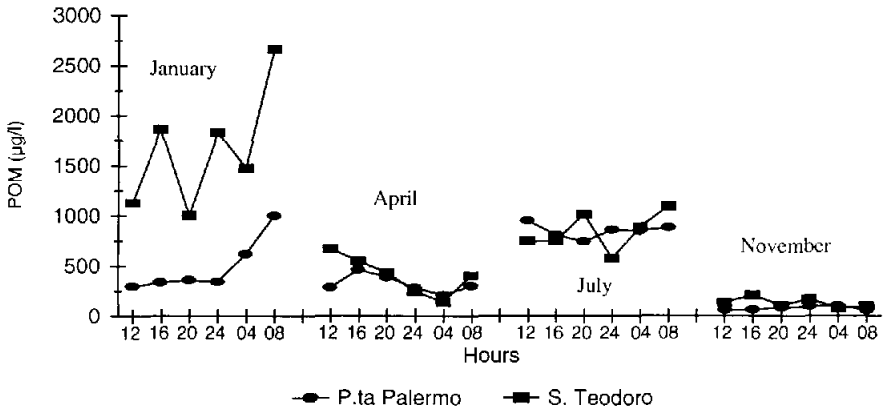


Fig. 4. - Seasonal and daily changes of particulate organic matter concentrations in the Stagnone Sound. P.ta Palermo and S. Teodoro are geographical names of sta. A and sta. B, respectively.

Particulate proteins were the most abundant biochemical class, accounting, on average, for 59% of the bulk POM, followed by carbohydrates (on average 29.7%) and lipids (11.3%). Only in November 1994, carbohydrates resulted the most abundant biochemical component of POM (on average 52.4% and 54.5 % at sta. A and sta. B respectively). At sta. B, a significant relationship between TSM and particulate proteins was found ($r = 0.57$, $p<0.01$) and related to the dominance of particulate matter rich in organic nitrogen *(i.e.* proteins), which, in shallow water wind-forced systems, often derives from resuspended material (Pusceddu & Fabiano, 1996) bacterial enriched (Wainright, 1990).

The POM/TSM ratio showed quite clear daily rythms in each station and season (Fig. 5) ranging, on average, between 2.4 % (sta. B, January) and 36.9 % (sta. A, July).

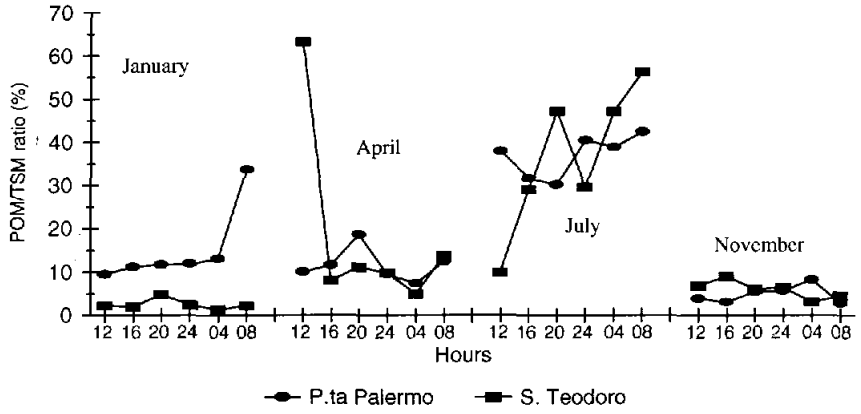


Fig. 5 - Seasonal and daily changes of the POM/TSM ratio (%) in the Stagnone Sound. P.ta Palermo and S. Teodoro are geographical names of sta. A and sta. B, respectively.

In contrast with earlier data (Sarà *et al,,* 1995), the POM/TSM ratio was on average higher in the southern area (sta. B, 17.1±12.0 %) than in the northern one (sta. A, 15.9±13.3 %), confirming the major role of sea vivification in the southern area.

The calorie value of particulate matter differed significantly between the two stations (ANOVA, $p<0.01$) only in January when at sta. B it was, on average, 1.8 times grater than at sta. A. During all seasons, with the exception of November, highest values of the calorie value were recorded during diurnal sampling. The calorie value followed the same seasonal pattern of the POM/TSM ratio only at sta. A, whilst showed an opposite pattern at sta. B.

POM quantities, as sum of proteins, carbohydrates and lipids, widely fluctuated during the day and were not apparently related to biological activities or to changes of the environmental parameters. By contrast, the clear daily fluctuation of quantitative parameters of POM observed in January may be hypothetically related to the amplified biological activity of suspended particles due to the sediment resuspension (Wainright, 1990). However, the episodicity of this phenomenon and the lack of direct measurement of particles sinking rates or currents speed do not allow us to draw a definitive scenery.

Even though environmental constraints were major factors in affecting distribution and quantity of the POM, the quality of the latter, measured in terms of the POM/TSM ratio and of its caloric value, was mainly affected by seasonal changes (Tab. 4).

Tab. 4 - Seasonal changes of the daily averaged concentrations of chlorophyll-a (CHLa, μg l^{-1}), particulate organic matter (POM, μg l^{-1}), caloric value (cal l^{-1}) and of the POM/TSM ratio (%).

Station A	CHLa	POM	POM/TSM	Caloric Value
January	0.5	489.3	15.2	2.7
April	0.2	317.9	11.6	1.9
July	0.2	846.8	36.9	4.7
November	0.2	76	4.8	0.4
Station B	**CHLa**	**POM**	**POM/TSM**	**Caloric Value**
January	1.7	1658.4	2.4	9.5
April	0.3	403.9	18.5	2.4
July	0.2	844.1	36.5	4.7
November	0.3	133.1	6	0.7

In terms of the energy available as suspended food, the best conditions for suspension feeders occurred on January at sta. A (on average 9.5 cal l^{-1}) and on July at sta. B (on average 4.7 cal l^{-1}). In these months the contribution of the labile fraction to the bulk organic matter *(i.e.* the POM/TSM ratio) reached values as high as 36% in both station. In this period a significant correlation between the POM/TSM ratio and the amount of total particulate proteins ($r=0.78$; $p<0.05$) was found and related to the major role of high-energy heterotrophic particles.

3.3. Concluding remarks on the trophic role of POM in the Stagnone Sound

It is well known that benthic suspension feeders prefer fresh particulate organic matter and find in living algal material a good and high-energy available food resource (Fabiano *et al.,* 1995). In this study phytoplankton biomass, in terms of chlorophyll-a concentrations, was very low (on average 0.3 μg l^{-1} and 0.7 μg l^{-1} respectively at sta. A and sta. B) and poorly contributed to the suspended organic matter pool. Most of the organic matter in the Stagnone sound, thus, may be considered of detrital origin. Moreover, due to the presence of a large *Posidonia* bed in the southern area of the sound, it will be to expect that a large fraction of this organic matter is mostly refractory and, thus, although present in large quantity, it is few available for consumers (Danovaro, 1996). This hypothesis has been only partially confirmed by the analysis of the biochemical composition of particulate organic matter. In fact, the contribution of the biopolymeric fraction (POM) to the bulk particulate matter, used as a food index (Navarro *et al.,* 1993), was quite high (on average about 20%, ranging 4-50 %) if compared with that found in a Mediterranean shallow coastal lagoon (range 1-10%, Pusceddu *et al.,* 1996). Nevertheless the calorie value of particles was considerably lower (Pusceddu & Fabiano, 1996).

The scarce energy load from the particulate organic matter naturally occurring in the Stagnone sound coupled with the lack of consistent fresh phytoplankton material, may be evocated to explain the low densities and biomass of infaunal suspension-feeder communities (Riggio & Chemello, pers. comm.) which, by contrast, are substituted by

limivore and detritivore species, which, in turn, may feed on high quantities of sediment organic matter, although of low quality (Pusceddu *et al.,* 1996).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are indebted with Prof. Mauro Fabiano (University of Ancona) and Prof. Antonio Mazzola (University of Palermo) for their continuous help in improving our research effort on the Stagnone di Marsala and for their invaluable criticism during the preparation of the manuscript. This work was partially funded by the *Ministero Università Ricerca Scientifica Tecnologica* of the Italian Government (40%) and by the *Ministero Risorse Agricole ed Alimentari (M.R.A.A.F).*

REFERENCES

Albertelli G., Chiantore M. & Fraschetti S. 1994. A one-year study of a sandy bottom community: seasonal fluctuations compared to a previous sampling period. *Atti X Congresso A.I.O.L,* Alassio (Italy), 4-6 November 1992: 529-542.

Alpine A.E. & Cloern J.E. 1992. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in a estuary. *Limnol. Oceanogr.,* 37(5): 946-955.

Arfi A. & Bouvy M. 1995. Size, composition and distribution of particles related to wind-induced resuspension in a shallow tropical lagoon. *J. Plankton Res.,* 17: 557-574.

Bligh E.G. & Dyer W. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol,* 37: 911-917.

Danovaro R. 1996. Detritus-bacteria-meiofauna interactions in a seagrass bed *(Posidonia oceanica)* of the NW Mediterranean. *Mar. Biol.,* 127: 1-13

Dubois M., Gilles K., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.,* 28: 350-356.

Fabiano M. 1994. La sostanza organica particellata delle acque superficiali del Golfo di Napoli. In: Operazione "Verità Mare" Indagine Ambientale nel Golfo di Napoli, 43-50

Fabiano M., Danovaro R. & Fraschetti S. 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. *Cont. Shelf Res.,* 15: 1453-1469.

Fabiano M., Danovaro R., Magazzù G., Acosta Pomar L., Decembrini F. & La Ferla R. 1987. Sostanza organica particellata e produzione primaria nelle acque superficiali del Canale di Sicilia. *Anno europeo dell'ambiente. Operazione "Isole Pelagie":* 1-45

Fabiano M., Povero P. & Danovaro R. 1993. Distribution and composition of particulate organic matter in the Ross Sea (Antarctica). *Polar Biology,* 13: 525-533.

Fabiano M., Zavatarelli M. & Palmero S. 1984. Obsevations sur la matiere organique particulaire (Proteines, Glucides, Lipides, Chlorophylle) en Mer Ligure. *Tethys,* 11: 133-140

Fegley S.R., MacDonald B.A. & Jacobsen T.R. 1992. Short-term variation in the quantity and quality of seston available to benthic suspension feeders. *Estuarine, Coast. Shelf Sci.,* 34: 393-412.

Fichez R. 1991a. Composition and fate of organic matter in submarine cave sediments; implications for the biogeochemical cycle of organic carbon, *Oceanol. Acta,* 14: 369-37

Fichez R. 1991b. Suspended particulate organic matter in a submarine cave. *Mar. Biol,* 108: 167-174

Hansen J.A., Klumpp D.W., Alongi D.M., Dayton P.K. & Riddle M.J. 1992. Detrital pathways in a coral reef lagoon. II. Detritus deposition, benthic microbial biomass and production. *Mar. Biol,* 113: 363-372.

Hartree E.F. 1972. Determination of proteins: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Anal. Biochem.,* 48: 422-427.

Lorenzen C.J. & Jeffrey S.W. 1980. Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.,* 12: 343-346.

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

MayerL.M., Jumars P.A., Taghon G.L., Macko S.A. & Trumbore S. 1993. Low-density particles as potential nitrogenous foods for benthos. *J. Mar. Res.,* 51: 373-389.

Mayzaud P., Chanut J.P. & Ackman R.G. 1989. Seasonal changes of the biochemical composition of marine particulate matter with special reference to fatty acids and sterols. *Mar. Ecol. Progr. Ser.,* 56: 189-204.

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

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

Navarro J.M. & Thompson R.J. 1995. Seasonal fluctuations in the size spectra, biochemical composition and nutritive value of the seston available to a suspension-feeding bivalve in a sub-arctic environment: *Mar. Ecol. Progr. Ser.,* 125:95-106

Poulet S.A., Cossa D. & Marty J-C., 1986. Combined analyses of size spectra and biochemical composition of particles in St. Lawrence Estuary. *Mar. Ecol. Progr. Ser.,* 30: 205-214.

Pusceddu A. & Fabiano M. 1996. Changes in the biochemical composition of Tetraselmis suecica and Isochrysis galbana during growth and decay. *Chem. Ecol.,* 12: 199-212

Pusceddu A., Sarà G. Mazzola A. & Fabiano M. in press. Relationships between suspended and sediment organic matter in a semi-enclosed marine System: the Stagnone of Marsala (northwestern Sicily, Italy). *Water, Air Soil Poll.*

Pusceddu A., Serra E., Sanna O. & Fabiano M. 1996. Seasonal fluctuations in the nutritional value of particulate organic matter in a lagoon. *Chem. Ecol,* 13: 21-37

Roy S., Mayzaud P. & Souchu P. 1991. Environhement physico-chimique et trophique d'un site mytilicole, ìles-de-la-Madeleine (Québec): H Matière particulaire, composition biochimique et productivité primaire. In: The gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary, Therriault J-C. (ed.), *Canadian Special Pubblication of Fisheries and Aquatic Sciences,* 113: 219-230.

Sarà G., Pusceddu A., Mazzola A. & Fabiano M. 1995. Variazioni della composizione biochimica del materiale organico particellato nello Stagnone di Marsala (Sicilia Occidentale): osservazioni preliminari. *Biol. Mar. Medit.,* Atti XXV Congresso S.I.B.M., 2(2): 127-129

Smaal A.C., Verhagen J.H.G., Coosen J. & Haas H.A. 1986. Interaction between seston quantity and quality and benthic suspension feeders in the Oosterschelde, The Netherlands, *Ophelia, 26:* 385-399.

Strickland J.D.H. & Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada,* 167: 310 pp.

Wainright 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: 3 82-281.

Winberg G.G. 1971. Symbols, units and conversion factors in study of fresh waters productivity. *Int. Biol. Progr.,* 23 pp

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 311 - 323

DATI PRELIMINARI SULLA VARIABILITÀ A BREVE TERMINE DELLA COMUNITÀ ZOOPLANCTONICA DELLO STAGNONE DI MARSALA (SICILIA OCC.)

Marina CAMPOLMI[1], Giacomo ZAGAMI[1], Letterio GUGLIELMO[1], Antonio MAZZOLA[2]

[1] Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina, Università di Messina
[2] Dipartimento di Biologia Animale, Università di Palermo

ABSTRACT

In May 1996 zooplankton samples were collected over a 24-h cycle in the Stagnone di Marsala lagoon (Western Sicily). Hydrometric data (height of tide, speed and direction of current) were also collected.

The sampling station (near the southern mouth connecting the lagoon to the sea) was largely influenced by the sea. The complex hydrodynamism of the lagoon was mainly wind-driven and to a lesser extend influenced by the tidal currents; daily tidal range was only 25 cm. Copepods dominated the zooplankton assemblages accounting for more than 89% of total abundances. Ostracods and meroplankton followed in rank order. Short-term fluctuations of some taxa, mainly copepod species and Mysids, could he ascribed both to hydrodynamic factors related to input and output through the lagoon mouth and to a specific daily migratory behaviour.

1. INTRODUZIONE

La struttura e la distribuzione delle biocenosi zooplanctoniche di ambienti lagunari sono state oggetto di numerose ricerche. Appaiono tuttavia poco trattati gli aspetti riguardanti la variabilità a breve termine dei popolamenti (Gagnon & Lacroix, 1981; Maranda & Lacroix, 1983; Sameoto, 1975, 1978; Selvakumar *et al.* 1986-87; Younglunth, 1980). In particolare lo studio degli effetti della marea sulla distribuzione, la composizione specifica e gli scambi di biomassa col mare ci permette di acquisire informazioni fondamentali per comprendere la dinamica delle comunità zooplanctoniche e il loro ruolo nella struttura trofica dell'ecosistema lagunare (UNESCO, 1981). In Italia tali ricerche hanno interessato principalmente le lagune dell'Alto Adriatico (Calvi Parisetti *et al,* 1979; Mazzocchi, 1981; Ceccherelli & Ferrari, 1982; Ferrari *et al,* 1985), sistemi caratterizzati generalmente da notevoli apporti di acqua dolce e da elevati livelli di trofia delle acque. Poco numerosi sono gli studi nelle aree più meridionali della

penisola (Crisafi *et al.,* 1973; Badalamenti *et al.,* 1990; Zagami & Guglielmo, 1995; Zagami *et al.,* 1996). Prendendo in considerazione le lagune italiane non si possono trascurare le diversità di aspetti e di struttura che distinguono quelle nord-adriatiche da quelle centrali e meridionali. Le caratteristiche climatiche, idrografiche e biologiche accostano le prime alle lagune nord-europee che vengono classificate come "sub-atlantiche", mentre le restanti vengono considerate "eumediterranee", distinguendo le "mesomediterranee" dell'Italia centrale dalle "xeromediterranee" degli aridi climi meridionali (Sacchi, 1979). Tra queste ultime, lo Stagnone di Marsala presenta notevoli analogie faunistiche e climatiche con gli ambienti salmastri delle coste meridionali del Mediterraneo, in particolare con gli stagni del Nord Africa (Golfo di Gabes), caratterizzati da una generale oligotrofia e da elevati valori di salinità dovuti alla notevole evaporazione e alle scarse precipita/ioni (Riggio & Chemello, 1992). Questo complesso ecosistema, dalle numerose peculiarità biologiche, è stato ampiamente studiato (Cavallaro *et al.,* 1977; Di Pisa & Riggio, 1982; Calvo & Fradà Orestano, 1984; Calvo *et al.,* 1986; Sarà *et al.,* 1993; Mazzola & Sarà, 1995), anche se informazioni specifiche sulla biocenosi zooplanctonica sono del tutto assenti. Al momento è in corso uno studio sulla distribuzione spazio-temporale dello zooplancton dell'intera area lagunare (Campolmi, 1997).

Scopo di questo lavoro è fornire un primo quadro quali-quantitativo della comunità mesozooplanctonica e descrivere la variabilità a breve termine del popolamento in relazione a fattori idrodinamici e ambientali.

2. L'AMBIENTE

Lo Stagnone di Marsala (Fig. 1) è un'area dalle caratteristiche lagunari, definita da Moliner e Picard (1953) come "un braccio di mare a forte tendenza lagunare a causa della debole circolazione dell'acqua". Le basse profondità, in media di 1,5 m, risentono dei notevoli apporti sedimentari provenienti dal fiume Birgi e sono accentuate dalla presenza di "mattes" di *Posidonia oceanica* che si estendono nella zona centrale e meridionale della laguna. Ampie ed irregolari sono inoltre le fluttuazioni di temperatura e salinità: la temperatura presenta valori minimi intorno agli 11 °C e massimi di 28.5 °C, la salinità varia da un minimo di 33 psu a massimi estivi che raggiungono valori di 45.5 psu (Mazzola & Sarà, 1995). Nelle zone meno profonde la temperatura può raggiungere i 36 °C (Riggio & Chemello, 1992). Le due bocche, nord e sud, garantiscono una costante comunicazione col mare ed un discreto ricambio delle acque, determinato principalmente dall'azione dei venti. Questi, provenienti prevalentemente da NW e SE, influenzano sia l'andamento delle correnti che i parametri chimico-fisici, quali temperatura, salinità e grado di torbidità dell'acqua (Mazzola & Sarà, 1995). Poco ampia è l'escursione di marea, di circa 30 cm (Arena, 1976).

Di notevole interesse è la struttura del popolamento macrobentonico (Riggio & Chemello, 1992), le cui larve costituiscono una componente importante del meroplancton. La macrofauna è costituita principalmente dall' epifauna di substrati duri, essendo molte specie di piccoli invertebrati associate ad alghe e fanerogame marine. La fauna caratteristica dei fondi mobili è molto povera. Il più cospicuo gruppo di organismi

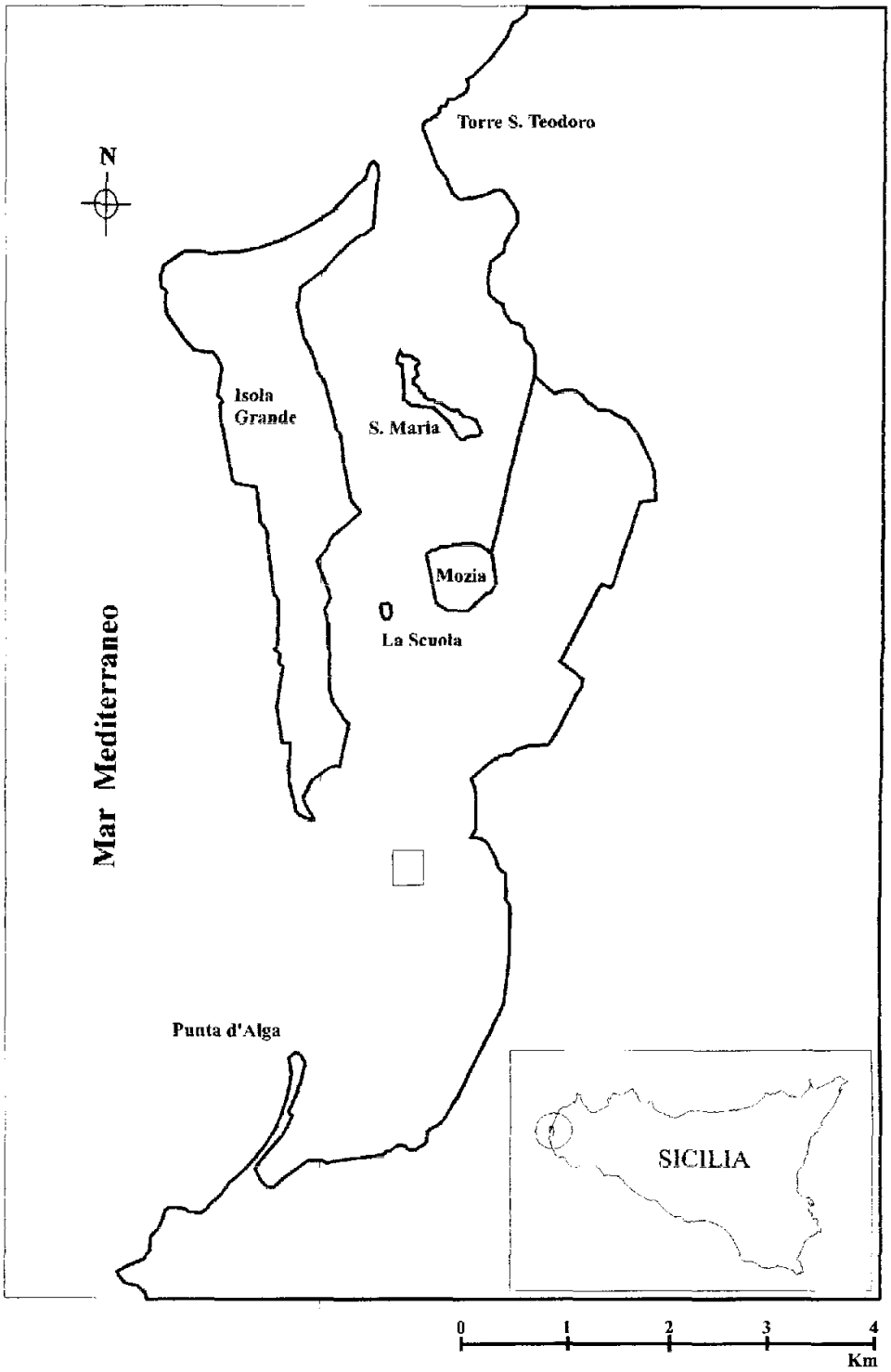


Figura 1 - Stagnone di Marsala, stazione di campionamento (∟).

sessili macrozoobentonici è costituito da Demosponge e Tunicati coloniali, attaccati ai rizomi di *P.oceanica* e agli steli di *Cystoseira* (Riggio & Chemello, 1992). Sono state inoltre segnalate 15 specie di Idrozoi (Piraino & Morri, 1990), epibionti sulle foglie di *P. oceanica* e *Cymodocea.* Briozoi sono frequenti sui rizomi di *P.oceanica* (Gristina & Balduzzi, 1990). Tra i Policheti sono ben rappresentati i Syllidi e gli Eunicidi, la maggior parte infossati nei letti algali, pochi nei sedimenti (Riggio & Chemello, 1992). Tra i crostacei Decapodi particolarmente frequenti *Carcinus maenas* costituisce la specie dominante (Andaloro *et a.l,* 1979). Abbondanti anche Anfipodi e Tanaidacei (Sparla & Riggio, 1983-84; 1985). I Molluschi, presenti con più di 130 specie, sono in prevalenza Gasteropodi (Chemello & Riggio, 1992).

Per quanto concerne il popolamento planctonico, Arena (1976) riporta qualche informazione descrittiva sia. sul fitoplancton, definendo il popolamento "quantitativamente scarso e povero come varietà di elementi", che sullo zooplancton, segnalando una forte prevalenza di organismi meroplanctonici (soprattutto larve di Granchi) e una debole presenza di Ostracodi e Copepodi.

Dalla ricerca in corso sulla comunità zooplanctonica (Campolmi, 1997) emerge una netta differenza quali-quantitativa tra la biocenosi lagunare e quella della zona marina antistante. Si profila infatti un netto gradiente di abbondanza crescente dalla laguna al mare. Le comunità delle zone di mare e di bocca sono costituite principalmente da Copepodi Calanoidi del genere *Acartia,* quella dell'area più interna lagunare è costituita prevalentemente da Arpacticoidi, copepoditi di *Acartia* e Cyclopidae.

3. MATERIALI E METODI

Il 9 e 10 maggio 1996, durante la fase di marea di quadratura, è stato effettuato un ciclo nictemerale di campionamenti in una stazione scelta all'interno della laguna in vicinanza della bocca meridionale, pertanto ampiamente esposta all'influenza delle acque marine (Tab. 1). I prelievi zooplanctonici, effettuati con un retino con apertura di maglia di 125 µm (bocca di 40 cm di diametro) dotato di flussimetro (Hydro-bios), sono stati ripetuti ad intervalli di 6 ore in corrispondenza delle massime escursioni di marea. Le pescate, a causa della scarsa profondità dell'area di campionamento (1.5 - 2 m), sono state di tipo orizzontale e della durata di 10 minuti, in modo da filtrare un volume d'acqua di almeno 50-60 m^3. I campionamenti hanno interessato lo strato d'acqua compreso tra la superficie e la profondità di circa 1 m. Per ciascun orario di campionamento sono state effettuate tre repliche per un totale di 12 pescate nell'arco delle 24 h. Contemporaneamente alle retinate sono stati rilevati: i principali parametri fisico-chimici (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH), mediante l'utilizzo di una sonda multiparametrica (Hydrolab); l'ampiezza delle escursioni di marea (calcolata misurando l'altezza del livello del mare rispetto ad un'asta di riferimento); misurazioni dei valori di direzione e intensità della corrente, mediante l'utilizzo di un correntometro (modello SD 6000).

I campioni di zooplancton raccolti sono stati fissati con formalina al 4% tamponata con tetraborato di sodio. I conteggi, eseguiti per grandi categorie sistematiche, sono stati effettuati su dei subcampioni di volume variabile (da 1/40 a 1/10 del

campione) in relazione alla densità dello zooplancton. L'intero saggio è stato analizzato per il conteggio delle specie rare. Dei Copepodi sono state identificate e conteggiate le singole specie. I valori di abbondanza sono stati espressi come numero di individui per metro cubo (ind./m^3). Non è stato possibile effettuare la stima della biomassa, per la difficoltà di separare la notevole quantità di materiale particellato organico e inorganico in sospensione contenuto nel campione. I valori medi di densità e la relativa deviazione standard per ciascun orario di campionamento sono stati ottenuti mediando i valori delle tre repliche.

4. RISULTATI

4.1. Dati idrologici e idrometrici

Durante il ciclo di campionamenti l'escursione di marea registrata è stata di circa 25 cm (Tab. 1). La salinità si è mantenuta pressoché costante, intorno a 38,5 psu, la temperatura ha oscillato tra i 22 e i 24 °C, presentando un leggero aumento al tramonto durante la bassa marea.

Tab. 1 - Andamento dei parametri fisico-chimici e ambientali durante il ciclo di campionamento.

Orario	13:00	19:00	2:00	8:00
Direzione vento	NW	NW		SE
Intensità (gradi Beaufort)	5	5	0	3
Fase di Marea	Alta	Bassa	Alta	Bassa
H idrometrica (cm)	40	25	50	25
T (°C)	22,5	24,1	22,6	22,3
S (psu)	38,5	38,7	38,4	38,4
pH	8,6	8,8	8,7	8,7
O_2 (mg/l)	6,9	9,2	7,4	7,1
O_2 (%)	101,1	138,3	108,4	102,0

I valori di temperatura e salinità riscontrati nella stazione di campionamento (Tab. 1), sono risultati maggiori rispetto a quelli registrati lo stesso giorno nella zona di mare antistante (rispettivamente di 17.9 °C e 37.8 psu), inoltre, sempre nello stesso giorno la salinità ha raggiunto valori di 39.1 psu nelle aree più interne della laguna (Campolmi, 1997).

L'andamento della concentrazione di ossigeno disciolto ha fatto registrare un massimo pomeridiano di 9.2 mg/l e un minimo nelle prime ore della mattina (7 mg/l).

Per quanto concerne i dati correntometrici (Fig. 2), sia la direzione che l'intensità della corrente risultano variabili nell'arco delle 24 ore e sembrano determinate principalmente dal regime dei venti (provenienti dal III e II quadrante). Come mostrato in figura 2, le correnti prevalenti e di maggiore intensità scorrono in direzione NE raggiungendo velocità massime di 12.4cm/sec.

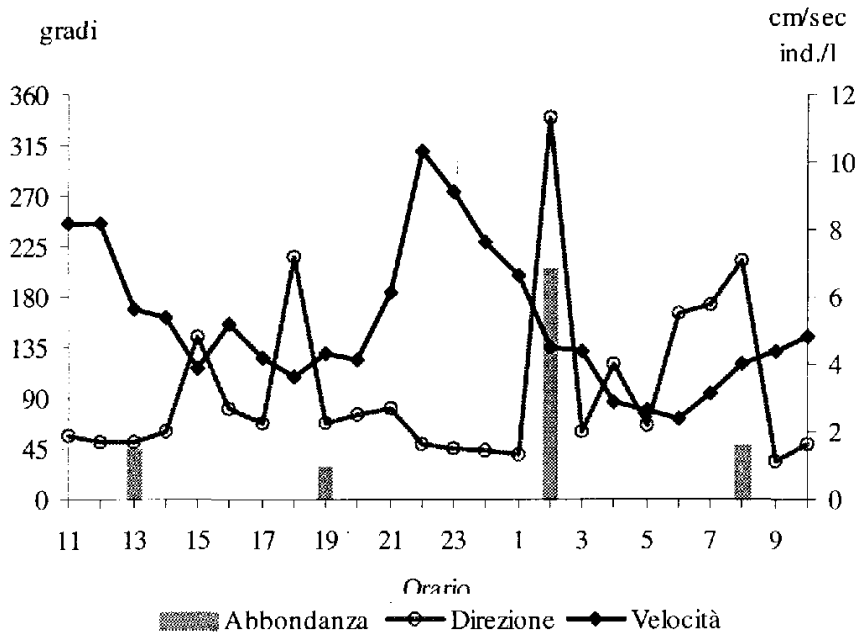


Fig. 2 - Direzione, velocità della corrente e abbondanza zooplanctonica.

4.2. Lo zooplancton

Il popolamento zooplanctonico ha presentato notevoli oscillazioni di densità nell'arco delle 24 ore (Tab. 2). La densità media ha presentato un picco di 6839 ind./m^3 durante la notte (02:00) e valori minimi di 938 ind./m^3 poco prima del tramonto (19:00). Complessivamente sono stati identificati 18 gruppi tassonomici, alcuni dei quali bentoplanctonici (Arpacticoidi filali, Anfipodi, Isopodi, Acari, Pantopodi, Cumacei, Tanaidacei e Misidacei). I Copepodi e le loro forme naupliari rappresentano il gruppo tassonomico più abbondante, costituendo in media rispettivamente l'89.5 % e il 4.4 % della densità totale; seguono per importanza numerica gli Ostracodi (2.3 %) e la frazione meroplanctonica (1.9 %), costituita principalmente dalle larve di Policheti, Decapodi, Gasteropodi, Cirripedi, Ascidie ed Echinodermi.

Per quanto riguarda le variazioni del popolamento durante le 24 ore (Tab. 2), i Copepodi hanno fatto registrare un notevole aumento di densità durante la notte; di giorno presentano valori medi intorno ai 1090 ind./m^3, raggiungendo i 6364 ind./m^3 durante il periodo notturno. Gli Ostracodi sono risultati particolarmente abbondanti alle 13:00 e alle 02:00, in occasione delle fasi di alta marea. Per quanto concerne la componente meroplanctonica, le densità più elevate si registrano di notte (96 ind./m^3). Da sottolineare infine, la cospicua presenza notturna di Misidacei.

Analizzando il popolamento a Copepodi, sono state identificate 16 specie delle quali 5 sono risultate occasionali *(Stephos sp., Paracandacia bispinosa, Centropages ponticus, Corycaeus flaccus, Haloptilus longicornis).* T copepoditi di *Acartia* sono il gruppo più rappresentato raggiungendo il 73.1% del totale dei Copepodi, seguono gli Arpacticoidi filali (20.2%) e i copepodili di *Isias clavipes* (3.1%). Per quanto concerne

Tab. 2 - Andamento della densità media (ind./m3) dei principali gruppi tassonomici nell'arco delle 24 h.

Fase di marea/ora campionamento	Alta/h 13:00		Bassa/h 19:00		Alta/h 02:00		Bassa/h 08:00	
	media ± d.s.		**media** ± d.s.		**media** ± d.s.		**media** d.s.	
Copepodi	**1066**	576,9	**806**	320,0	**6364**	1382,6	**1399**	391,9
Naupli di Copepodi	**157**	133,5	**55**	32,6	**145**	98,4	**122**	57,6
Ostracodi	**118**	148,9	**22**	16,4	**96**	161,6	**10**	5,3
Meroplancton	**59**	54,8	**26**	10,8	**96**	63,4	**22**	2,5
Anfipodi	**5**	3,2	**13**	19,1	**21**	12,9	**4**	2,3
Isopodi	**25**	0	**3**	0,7	**4**	0	**0**	0,4
Misidacei	**1**	1,0	**6**	0	**56**	29,9	**1**	0,2
Chetognati	**3**	3,5	**4**	4,9	**25**	22,2	**4**	1,3
Acari	**2**	1,3	**4**	4,7	**7**	0,4	**2**	0,9
Idromeduse	**2**	2,0	**2**	1,0	**27**	18,6	**0**	0,3
Tanaidacei	**2**	2,1	**0**	0,1	**1**	0	**0**	0
Cumacei	**1**	0,0	**1**	0	**4**	4,9	**0**	0
Pantopodi	**3**	4,3	**0**	0	**0**	0	0	0
N° medio totale (ind./m^3)	**1425**	786.1	**938**	340.4	**6839**	1520.7	**1561**	392.4

la frequenza di rilevamento delle singole unità sistematiche dei Copepodi (Tab. 3), tra le specie costiere, le forme giovanili di *Acartia* e *Isias* presentano le più alte frequenze (100%), seguiti dagli adulti di *Acartia margalefi* (91%), *A. josephinae* (83%), *Labidocera brunescens* (66.6), *Oithona brevicornis* (66.6%) e dai copepoditi di *Parapontella* (66.6%). Tra le forme salmastre gli Arpacticoidi presentano le massime frequenze di ritrovamento (100%); seguono Cyclopidae (91%), *Pseudocychps sp.* (75%) ed infine *Porcellidium sp.* (58.3%) e Monstrilloidi (41.6%). Per quanto riguarda le variazioni di densità delle singole specie di Copepodi (Tab. *3),* le elevate abbondanze notturne sono dovute principalmente all'aumento delle forme giovanili di *Acartia,* che superano i 5000 ind./m^3 costituendo oltre il 78% dei Copepodi totali. Maggiori di notte anche le densità dei copepoditi di *Isias* e degli adulti di *A. margalefi.* Gli Arpacticoidi dominano il popolamento al tramonto durante la bassa marea, raggiungendo percentuali del 56.6%, anch'essi aumentano di densità durante la notte. Sono da sottolineare, inoltre, il forte incremento numerico notturno di *Pseudocyclops sp.* e la presenza degli adulti di *Isias clavipes,* questi ultimi ritrovati esclusivamente di notte.

5. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

La struttura del popolamento zooplanctonico primaverile della zona di bocca dello Stagnone di Marsala presenta valori di densità maggiori di quelli riscontrati nelle acque costiere del basso Tirreno nello stesso periodo stagionale (Zagami *et al.,* 1996) ed è caratterizzata da un numero relativamente basso di specie.

Tab. 3 - Andamento della densità media (ind./m^3) e frequenza percentuale (f) delle unità sistematiche di Copepodi nell'arco delle 24 ore.

Fase di marea/ora campionamento	Alta/h 13:00		Bassa/h 19:00		Alta/h 02:00		Bassa/h 08:00		
	media	± d.s	**media**	± d.s.	**media**	± d.s.	**media**	d.s.	**f %**
Acartia copepoditi	**615**	442,8	**301**	136,7	**5010**	1183,4	**1115**	442,0	100
Arpacticoidi	**354**	163,4	**461**	429,5	**897**	163,3	**234**	67,8	100
Isias copepoditi	**59**	46,3	**22**	10,1	**198**	106,4	**21**	15,9	100
Acartia margalefi	**15**	10,0	**8**	8,4	**96**	5,6	**11**	9,0	91,0
Porcellidium sp.	**7**	7,4	**2**	0,8	**3**	4,4	**24**	0	58,3
Cyclopidae	**2**	3,4	**14**	14,0	**27**	31,4	**3**	2,9	91,0
Isias clavipes	**0**	0	**0**	0	**121**	80,6	**0**	0	25,0
Oithona brevicornis	**4**	0	**2**	0,2	**0**	0,2	**3**	2,0	66,6
Pseudocyclops sp.	**2**	3,3	**1**	1,1	**29**	11,8	**0**	0	75,0
Acartia clausi	**7**	8,1	**1**	0	**0**	0	**0**	0	25,0
Oithona nana	**4**	7,1	**0**	0	**0**	0	**0**	0,1	41,6
Oncaea sp.	**1**	0	**1**	0	**7**	0	**0**	0	33,3
Acartia josephinae	**3**	3,3	**0**	0,1	**2**	2,4	**0**	0	83,0
Labidocera copepoditi	**0**	0	**1**	0,9	**4**	4,8	**1**	0,9	75
Parapontella copepoditi	**0**	0	**0**	0,3	**4**	2,6	**0**	0	66,6
Monstrilloidi	**0**	0	**0**	0	**3**	4,5	**1**	1,8	41,6
Pseudocyclops copepoditi	**0**	0	**0**	0	**7**	0	**0**	0	8,3
Parapontella brevicornis	**1**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	16,6
Labidocera brunescens	**0**	0,1	**0**	0,1	**1**	0	**0**	0,3	66,6
Paracandacia bispinosa	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	8,3
Corycaeus flaccus	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	8,3
Haloptilus longicornis	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	8,3
Stephos sp.	**0**	0	**0**	0	**1**	0	**0**	0	8,3
N° medio totale (ind./m^3)	**1066**	576.9	**806**	320	**6364**	1382.6	**1399**	391.9	

Lo zooplancton risulta costituito principalmente da organismi costieri e in minor misura da organismi tipicamente salmastri, a causa dell'ubicazione della stazione di campionamento, posta in prossimità della bocca di comunicazione col mare, che risulta quindi ampiamente esposta all'influenza delle acque neritiche.

La componente marina è costituita principalmente da forme giovanili e adulti di Copepodi costieri del genere *Acartia,* mentre quella più propriamente lagunare è costituita prevalentemente da Arpacticoidi filali, Cyclopidae e *Pseudocyclops sp.,* Calanoide tipicamente bentonico (Bowman & Gonzàlez 1961). L'oloplancton prevale sul meroplancton.

Per quanto concerne la struttura del popolamento a Copepodi si possono distinguere 3 gruppi di specie con caratteristiche ecologiche diverse e che pertanto possono costituire degli "indicatori" di determinate masse d'acqua:

- forme autoctone, tipicamente salmastre, tra le quali Arpacticoidi, Cyclopidae *Pseudocyclops sp., Porcellidium sp.* e Monstrilloidi. Queste costituiscono il gruppo dominante nelle zone più interne della laguna, dove svolgono l'intero ciclo biologico; inoltre presentano un gradiente di abbondanza decrescente procedendo verso il mare (Campolmi, 1997).

- specie tipicamente costiere *(Acartia clausi, A. josephinae, A. margalefi Centropages ponticus, Isias clavipes, Labidocera brunescens, Parapontella brevicornis Oithona brevicornis, O. nana),* che si trovano generalmente nelle acque della fascia costiera, alcune di queste riescono a penetrare anche nelle aree lagunari maggiormente influenzate dalle acque marine. Tra le suddette specie, *A. margalefi,* specie a strategia "r" (Alcaraz, 1983; Ferrari *et al.,* 1985), riesce a penetrare nelle aree interne della laguna e a svolgervi l'intero ciclo biologico (Campolmi, 1997), come osservato in altri ambienta salmastri (Alcaraz, 1983; Ferrari *et al.,* 1985, Zagami & Guglielmo 1995)

- specie pelagiche, tipiche di acque epipelagiche *(Corycaeus flaccus)* e subsuperficiali *(Haloptilus longicornis, Paracandacia bispinosa)* (Scotto di Carlo *et al.,* 1984). Le suddette specie si riscontrano solo occasionalmente in quest'ambiente in seguito all'ingresso di acque pelagiche determinato principalmente dall'azione dei venti

I venti da NW determinano un ingresso d'acqua dalla bocca sud in direzione NE (Tab. 1, Fig. 2). In quest'area, caratterizzata dalle maggiori profondità (2 5-3 m) sono presenti numerosi cordoni di *P. oceanica* che ostacolano la libera circolazione dell'acqua e determinano dei movimenti vorticosi. I venti da SE, contrariamente spingono fuori dalla bocca uno strato d'acqua superficiale, determinando più in profondità un richiamo di acqua dal mare, che probabilmente rimane circoscritta in quest'area. Si spiega cosi la presenza occasionale in laguna (alle ore 08-00) di specie tipiche delle acque del largo. L'escursione di marea, pur essendo poco ampia contribuisce al ricambio delle masse d'acqua specialmente quando i venti sono deboli o assenti. Alle ore 02:00 infatti in condizioni di calma di vento e durante l'alta marea si registra un debole flusso d'acqua che entra in laguna in direzione N (Tab. 1, Fig 2).

La struttura del popolamento dell'area indagata (composizione e' abbondanza relativa delle specie) risulta intermedia tra quella più propriamente lagunare e quella manna (Campolmi, 1997), secondo un tipico gradiente sovrapposto a quello delle caratteristiche idrologiche, come riportato per altri ambienti lagunari (Colombo *et al* 1983-84; Ferrar. & Colombo, 1988). Nella stazione di campionamento i valori termoalini sono intermedi tra quelli dell'area più tipicamente lagunare e quelli della zona di mare antistante (Campolmi, 1997), essendo il risultato di processi di mescolamento dovuti all'azione del vento e della marea.

La presenza di numerosi gruppi bentoplanctonici può essere dovuta in parte all'azione dei venti, che in ambienti laminari determinano un forte rimescolamento delle acque, mettendo m sospensione sedimenti e organismi di fondo; ma anche ai movimenti che gli stessi organismi compiono, preferibilmente di notte, spostandosi dal fondo verso la superficie (Alldredge & King, 1980; Armonies, 1990). In particolare nella stazione

campionata si registra un forte incremento notturno di Misidacei *(Diamysis bahirensis* e *Siriella armata),* Arpacticoidi e *Pseudocyclops sp.,* imputabile a fenomeni di migrazione verticale come osservato in altri ambienti salmastri poco profondi (Genovese, 1963; Alldredge & King, 1985).

La variabilità del popolamento zooplanctonico, durante il ciclo nictemerale, sembra dipendere in parte da fattori idrodinamici (determinati principalmente dal regime dei venti e in minor misura ai cicli di marea), in parte dai periodi di luce e di buio. E' durante la fase notturna che si riscontrano le maggiori densità di zooplancton ed un aumento delle forme tipicamente costiere (copepoditi di *Acartia,* adulti *di A. margalefi* e di *I. clavipes)* rispetto agli organismi salmastri. Tale fenomeno potrebbe essere dovuto sia al trasporto tidale, essendo i copepoditi di *Acartia* e gli adulti di *A. margalefi* riscontrati con maggiori abbondanze nella stazione di mare antistante (Campolmi, 1997), sia a fenomeni di migrazione verticale circadiana, effettuati probabilmente per evitare la predazione (Fulton,1984) e il forte irraggiamento superficiale durante il giorno (Zaret & Suffern, 1976).

Come già evidenziato per altre aree lagunari (Ferrari *et al.*, 1985), la distribuzione dello zooplancton in una laguna è influenzata da un tipico modello di circolazione che dipende dalle caratteristiche topografiche locali. La variabilità della densità giornaliera dei differenti taxa non può essere interpretata semplicemente in funzione dei dati idrologici;la maggior parte dei taxa infatti include differenti specie, ognuna delle quali è caratterizzata da un particolare habitat nella laguna e spesso da uno specifico comportamento migratorio giornaliero (Fulton, 1984).

BIBLIOGRAFIA

Alcaraz M. 1983. Coexistence and segregation of congeneric pelagic copepods: spatial distribution of the *Acartia* complex in the ría of Vigo (NW of Spain). *J. Plankton Res., 5:* 891-900.

Alldredge A. & King J.M. 1980. Effects of moonlight on the vertical migration patterns of demersal zooplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 44: 133-156.

Alldredge A. & King J.M. 1985. The distance demersal zooplankton migrate above the benthos, implications for predation. *Mar. Biol.,* 84: 253-260.

Andaloro F., Cefali A., Millemaci R. & Scuderi C.M. 1979. I Crostacei Decapodi dello Stagnone di Marsala: note ambientali. *Mem. Biol. Ocean., Messina,* IX, 3: 85-90.

Arena P. 1976. La situazione ambientale dello Stagnone di Marsala ed i problemi relativi alla sua valorizzazione. In: L'uomo e lo Stagnone. *Atti Conv. Ist. Tecn. Agr. "A. Damiani ", Marsala,* p. 141.

Armonies W. 1990. Short-term changes of meiofaunal abundance in intertidal sediments. *Helg. Meeres.,* 44: 375-386.

Badalamenti F., Zagami G., Manganaro A., & Guglielmo L. 1990. Variazioni giornaliere della comunità zooplanctonica litorale nei pressi di Capo Peloro (Me): relazioni con la fauna ittica e il regime idrodinamico. *Atti 53° Congr. U.Z.I., Palermo:* 79-90.

Bowman T.E. & J.G. Gonzàlez 1961. Four new species of *Pseudocyclops* (Copepoda: Calanoida) from Puerto Rico. *Proc. U.S. natn. Mus.,* 113: 37-59.

Calvi Parisetti C., Ferrari I. & Mazzocchi M.G. 1979. Effetti della marea sulla distribuzione di popolazioni zooplanctoniche in ambiente lagunare. *Meni. Ist. Ital. Idrobiol.,* Suppl. 37: 95-106.

Calvo S., & Fradà Orestano C. 1984. L'herbier à *Posidonia oceanica* des côtes siciliennes: les formations récifales du Stagnone. *Int. Work. Pos. ocean. beds,* 1: 29-37.

Calvo S., Genchi G., Lugaro A., Fradà-Orestano C., Barone R. & Di Bernardo F. 1986. Osservazioni ecologiche su una laguna siciliana (Lo Stagnone, Trapani): nutrienti, clorofilla e parametri batteriologici. *Atti 7° Congr. A.I.O.L.,* Trieste: 185-194.

Campolmi M. (inedito). Studio della comunità zooplanctonica di una laguna costiera mediterranea (Stagnone di Marsala, Sicilia occidentale). *Tesi di Dottorato (II stadio di avanzamento), Sc. Amb.,* Univ. Messina, 1997.

Cavallaro G., Arena P., Cefali A., Potoschi A., Sorbilli P. & Di Natale A. 1977. Studio di un ambiente lagunare: lo Stagnone di Marsala. *Atti II Conv. sicil. Ecol:* 47-69.

Ceccherelli V.U. & Ferrari I. 1982. Annual and seasonal variation of zooplankton in a shallow-water lagoon system, the Valli of Comacchio. *Estuar. Coast. Shelf.Sci.,* 14: 337-350.

Colombo G., Ceccherelli V.U. & Ferrari I. 1983-84. Lo zooplancton delle lagune. *Nova Thalassia,* 6 (suppl.): 185-200.

Crisafi P., Baccellieri P. & Fabiano N. 1973. Successioni stagionali e rilievi sulla progressiva riduzione qualitativa e quantitativa dello zooplancton dei Laghi di Ganzirri e di Faro. *Atti Soc. Peloritana Sci. Fis. Mat. Nat.,* 19: 101-105.

Di Pisa G. & Riggio S. 1982. La circolazione lagunare nello Stagnone di Marsala (Sicilia occidentale): formulazione di un modello matematico semplificato. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova,* 50 (suppl. 1) 1: 167-172.

Ferrari L, Cantarelli M. T., Mazzocchi M.G. & Tosi L. 1985. Analysis of a 24-hour cycle of zooplankton sampling in a lagoon of the Po River Delta. *J. Plankton Res.,* 7(6): 849-865.

Ferrari I. & Colombo G.1988. Struttura e dinamica dello zooplancton nelle lagune salmastre italiane. In: Le lagune costiere: ricerca e gestione (Carrada G.C., Cicogna F. e Fresi E. Editors). CLEM, Massa Lubrese (Napoli): 107-117.

Fulton R. S. 1984. Distribution and community structure of estuarine copepods. *Estuaries,* 7: 38-50.

Gagnon M. & Lacroix G. 1981. Zooplancton samples variability in a tidal estuary: An interpretative model. *Limnol. Oceanogr.,* 26: 401-413.

Genovese S. 1963. Osservazioni preliminari sullo zooplancton degli stagni salmastri di Ganzirri e di Faro. *Archivio Botanico e Biogeografico Italiano,* Vol. 39, 8 (4): 1-4.

Gristina M. & Balduzzi A. 1990. strategie riproduttive di *Aeta sica* (Byozoa, Gymnolaemata) nello Stagnone di Marsala (Sicilia occidentale). *Oebalia,* 16 (2) Suppl., 1:683-684.

Maranda Y. & Lacroix G. 1983. Temporal variability of zooplankton biomass (ATP content and dry weigth) in the St. Lawrence Estuary: advective phenomena during neap tide. *Mar. Biol.,* 73: 247-255.

Mazzocchi M. G. 1981. Variabilità a breve termine e trasporto dello zooplancton in una laguna del Delta padano. *Riv. Idrobiol,* 20 (2): 441-467.

Mazzola A. & Sarà G. 1995. Caratteristiche idrologiche di una laguna costiera mediterranea (Stagnone di Marsala, Sicilia occidentale): ipotesi di un modello qualitativo di circolazione lagunare. *Naturalista sicil.* S. IV, XIX (3-4): 229-277.

Moliner R. & Picard J. 1953. Notes biologiques à propos d'un voyage d'étude sur les côtes de Sicilie. *Ann. Inst. Océan.,* 28, 4: 163-188.

Piraino S. & Morri C. 1990. Zonation and ecology of epiphytic Hydroids in a Mediterranean coastal lagoon: the "Stagnone" of Marsala (North-west Sicily). *P.S.Z.N.I: Mar.Ecol.,* 11 (1): 43-60.

Riggio S. & Chemello R. 1992. The role of coastal lagoons in the emerging and segregation of new marine taxa: evidence from the Stagnone di Marsala Sound (Sicily). *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco, 9:* 1-19.

Sacchi C.F. 1979. The coastal lagoons of Italy. In: Ecological processes in coastal environments (Jefferies R.L. & Davy A.J. Eds.). Blackwell Sci. Publ., Oxford: 593-601.

Sameoto D.D. 1975. Tidal and diurnal effects of zooplankton sample variability in a nearshore marine environment. *J. Fish. Res. Bd Can.,* 32: 347-366.

Sameoto D.D. 1978. Zooplankton sample variation on the Scotian Shelf. *J. Fish. Res. Bd Can.,* 35: 1207-1222.

Sarà G., Lopiano L., Scilipoti D., Mirto S., Campolmi M. & Mazzola A. 1993. Indagine sul pesce novello nello Stagnone di Marsala (Sicilia). *Biologia Marina* (suppl. al Notiziario S.I.B.M.), 1: 221-222.

Scotto di Carlo B., Ianora A., Fresi E. & Hure J. 1984. Vertical zonation patterns for Mediterranean copepods from the surface to 3000 m al a fixed station in the Tyrrhenian Sea. *J. Plankton Res., 6* (6): 1031-1055.

Selvakumar R.A., Goswami, S.C. & Goswami U. 1986-87. Tidal and diel influence on zooplankton occurrence in the Mandovi Estuary, Goa.*Journal of the Indian Fisheries Association,* 16/17: 39-49.

Sparla M.P. & Riggio S. 1983-84. Notes on the invertebrate fauna associated to the alga *Rytiphloea tinctoria* (Clem). C. Ag. in the Stagnone Sound (western Sicily). *Nova Thalassia,* 6 (suppl.): 105-111.

Sparla M.P. & Riggio S. 1985 - A yearly survey of the invertebrate fauna of *Rytiphloea tinctoria* (Clem). C. Ag. in the Stagnone Sound (western Sicily). *Ibid.,* 7 (suppl. 3): 257-261.

Unesco 1981. Coastal lagoon research, present and future. *UNESCO tech. pap. Mar. Sci.,* 32, 97 pp.

Youngbluth M.J. 1980. Daily, seasonal and annual fluctuation among zooplankton population in a unpolluted tropical embayment. *Estuar. Coast. Mar. Sci.,* 10: 265-287

Zagami G., Badalamenti F., Guglielmo L. & Manganare A. 1996. Short-term variations of the zooplankton community near the Straits of Messina (North-eastern Sicily): relationships with the hydrodynamic regime. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.,* 42: 667-681.

Zagami G. & Guglielmo L. 1995. Distribuzione e dinamica stagionale dello zooplancton nei laghi di Faro e Ganzirri. *Biol. Mar. Med., 2* (2): 83-88.

Zaret T.M. & Suffern J.S. 1976. Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnol. Oceanogr.,* 21: 804-813.

Atti dei 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 325 - 334

THE ZOOPLANKTON POPULATION OF A SMALL ALPINE LAKE: LAKE MALGHETTE (TRENTINO, ITALY)

Giovanna FLAIM, Valerla LENCIONI

Istituto Agrario di S. Michele all'Adige, Trento

RIASSUNTO

Tra il settembre del 1994 ed il novembre del 1995, nel periodo di acque libere, è stata condotta un'indagine limnologica sul lago delle Malghette, prestando maggior attenzione alla comunità zooplanctonica della zona pelagica. Il lago si trova all'interno del Parco Naturale Adamello Brenta (1891 m slm) ed è il più grande lago glaciale di circo del Gruppo della Presanella. E' un lago oligotrofo, temperato dimittico, con acque limpide, povere di sali disciolti, sempre ben ossigenate e fredde per la maggior parte dell'anno. Qui si trova la comunità zooplanctonica completa tipica di laghi d'alta quota, poco eterogenea (le specie più rappresentative sono il rotifero *Kellikottia longispina,* il ciclopide *Cyclops abyssorum-tatricus,* il cladocero *Daphnia* gr. *longispina* ed i "relitti glaciali" *(Holopedium gibberum* ed *Acanthodiaptomus denticornis)* ma ricca di individui, presenti comunque con densità compatibili con la condizione di oligotrofia riscontrata. Dominano numericamente i rotiferi e in termini di biomassa i cladoceri. La comunità è arricchita anche dalla presenza di ecotipi, descritti per *A. denticornis* e per *D.* cfr. *zschokkei.*

1. INTRODUCTION

High altitude lakes in Italy are poorly known and most information is limited to alpine and tourist guides with a scarcity of scientific data, particularly biological data. Recently, interest has grown in these habitats because of their usefulness in studying relationships among the various components of aquatic ecosystems. Alpine lakes usually Have simplified biological communities due to their extreme physical-chemical conditions. They are characterised as thermally unstable, relatively shallow and small, with high flush rates, high transparency and solar irradiation and ice covered for several months a year (Tonolli, 1954). Primary and secondary production is therefore limited in lime which determines an overlapping of life cycles and competition for food and space. In this scenario and also considering the isolated nature of these lakes, micro evolutionary processes which permit differentiation into ecotypes are frequent (Tonolli, 1947). High altitude lakes also offer an opportunity to study pristine environments, important for monitoring long term changes (Engle & Melack, 1995; Larson *et al.,* 1995).

Lake Malghette was one of five lakes included in a CEE directive (78/659) carried out during 1995 on the quality of water bodies located within protected areas. In the past, the lake has been the object of sporadic investigations of physical (Merciai, 1935) and biological (Largaiolli, 1905; Beguinot, 1931; Giussani *et al.,* 1986) aspects. During this survey chemical, physical and biological analyses were performed. This paper deals with the zooplankton community of the pelagic zone.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study site

Lake Malghette situated at 1891 metres above sea level is the largest water body in the Presanella mountain group. It is a glacial cirque lake located in a tonalite depression with an area of 9.54 x 10^5 m^2 and a volume of 4.77 x 10^5 m^3. Maximum depth is 10.6 m. The surrounding vegetation is a mixture of alpine forest *(Picea excelsa, Pinus cembra)* and pasture. The lake is dimitic, oligotrophic, ice-covered from November to May, with maximum conductivity of 13 µS cm^{-1}, total phosphorous 4 mg L^{-1} and chlorophyll a 3.6 mg m^{-3}. It is well oxygenated and slightly acidic (pH = 5.9-7.5), with Secchi disk always visible on the bottom as is typical of lakes located in silicaceous basins (Lencioni, 1996). On the western shore it has one main and several ephemeral inlets which drain four other cirque lakes and on the eastern shore one outlet, the Meledrio stream. The watershed area of the lake is approximately 413 ha.

2.2. Sampling and Biological Analysis

The lake was reached by back-packing. Seven samplings were carried out from September 1994 through November 1995 excluding the period of ice-cover. Sampling dates were 7 Sept and 15 Nov in 1994 and 24 May, 27 June, 1 Aug, 12 Sept and 8 Nov in 1995. Zooplankton was sampled from a small boat at maximum depth with an Epstein type net (17 cm diameter, 100 mm mesh) slowly towed vertically from near the lake bottom to the surface. Net filtration was assumed to be 100%. Samples were preserved in 4% formalin solution. For each sampling date, density measurements were made from four 5 mi subsamples counted at a dissecting scope of 50-100x magnification. Density, expressed as number of organisms/nr^1 was calculated with the formula reported in APHA (1992). Taxonomic identifications were made with a light microscope at 400-630x magnifications.

Biometric analysis and biomass calculations were carried out on samples collected in 1995. Body length was measured for all developmental stages of *Cyclops abyssorum* f. *tatricus* and *Acanthodiaptomus denticornis* according to Dussart (1969), for *Daphnia* gr. *longispina* and *Holopedium gibberum* according to Margaritora (1983) and for *Kellikottia longispina* according to McCauley (1985). Number of eggs/female were counted for copepods and daphnids. Eggs per female in *H. gibberum* were not considered because of egg loss in preserved individuals.

Dry weight (mg) for crustaceans was calculated by regression equations as reported in McCauley (1985):

- *C. abyssorum-tatricus* (all stages) lnW = 1.54 + 2.34lnL (obtained from *C. strenuus);*

- *A. denticornis* (nauplii) lnW = 0.70 + 0.47 lnL (from *Arctodiaptomus spinosus);*
- *A. denticornis* (copepodite-adult) lnW - 2.34 + 2.98 lnL;
- *D.* gr. *longispina* (all stages) lnW = 1.34 + 2.57 lnL;
- *H. gibberum* (all stages) lnW = 6.26 + 3.05 lnL.

Egg biomass was not estimated The equations were applied to individual length measurements as suggested by Bird & Prairie (1985). Dry weight of *K. longispina* was estimated by calculating biovolume (mm^3): $v = 0.03a^3$ where a = major axis (Ruttner-Kolisko, 1977); specific weight was assumed to be equal to 1 (McCauley, 1985). For other zooplankters average reported dry weight (mg) or volume (mm^3) constants were used: *Bosmina longirostris* = 1.65 mg, *Keratella* quadrata = 0.18 mg, *Polyarthra* gr. *vulgaris dolichoptera* = 0.2 (Margalef, 1983); *Chydorus ovalis* and *C. sphaericus = 2* mg, *Synchaeta* sp. = 1.5 mm^3 (Wetzel & Likens, 1991).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Zooplankton Density

Seasonal dynamics of the zooplankton community composed of rotifers, copepods and cladocerans is illustrated in Fig. 1. Density rapidly increases starting from ice melt in late spring (ca. 13 x 10^3 organisms per m^3), reaching a peak in August (156 x 10^3) and then slowly decreases between summer and autumn (50 x 10^3).

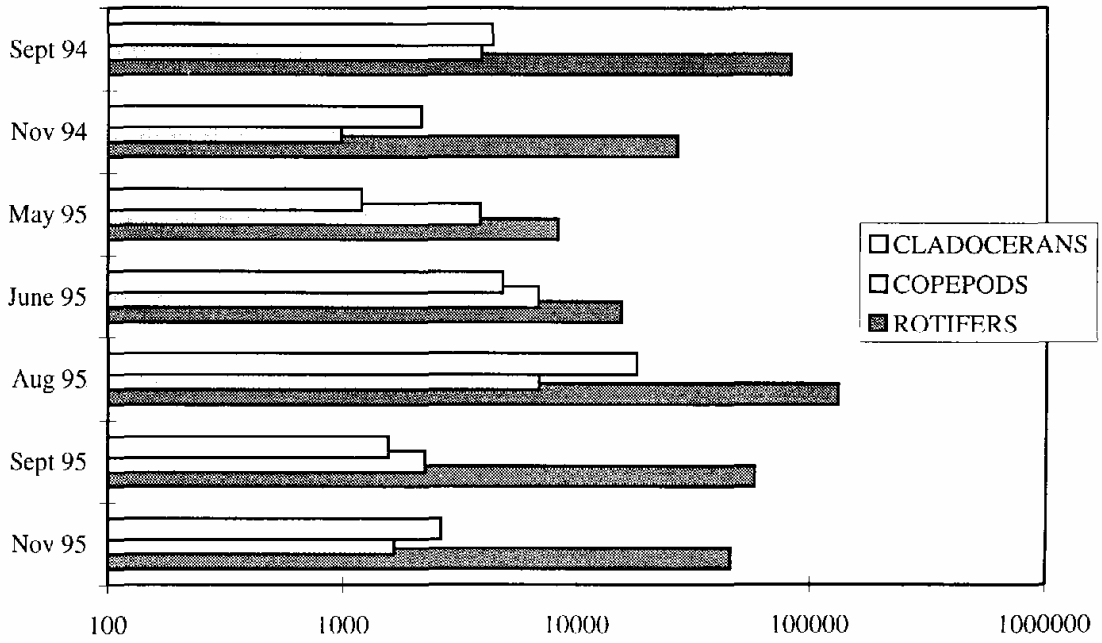


Fig. 1 - Density (organisms/cubic meter) of the major zooplancton groups in Lake Malghette.

The rotifer *Kellikottia longispina* is always numerically dominant and comprises ca. 90% of the zooplankton population in some samples. Other rotifers such as *Keratella quadrata, K. cochlearis, Lecane* sp., *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* and *Synchaeta*

sp. occur only sporadically and in low numbers in the various samples (Tab.l). This could partially be due to the large mesh size used.

Cladocerans are represented by *Daphnia* gr. *longispina* in all samples and by *Holopedium gibberum* in the spring and summer samples (Tab. 1). There is a sporadic presence of *Bosmina longirostris, Chydorus ovalis* and *C. sphaericus.*

Tab. 1 - Pelagic zooplankton in L. Malghette (1994-95): density (organisms/m^3) of the major components.

Sampling Date	9-94	11-94	5-95	6-95	8-95	9-95	11-95
Kellicotia longispina	81,824	26,712	8,279	15,414	130,775	57,703	45,411
Keratella quadrata	42	145	20	<1	<1	<1	<1
Polyarthra vul-dolichoptera	42	<1	<1	116	97	82	39
Synchaeta sp.	<1	<1	<1	<1	48	137	<1
Acanthodiap. denticornis &	1,127	225	<1	<1	630	369	308
A. denticornis %	745	53	<1	<1	945	178	463
Calanoida nauplii	<1	<1	923	2,131	727	14	<1
Calanoida copepodites	117	26	<1	694	1381	141	117
Cyclops abyssorum &	625	541	71	33	121	55	540
Cyclops abyssorum %	128	79	<1	<1	<1	205	231
Cyclopoida nauplii	<1	<1	1,348	1,404	633	<1	<1
Cyclopoida copepodites	1,151	11	1,500	2,577	2,520	1,284	<1
Bosmina longirostris	146	145	<1	<1	<1	<1	<1
Daphnia gr.*longispina* &	4,039	1,956	264	1,487	16,671	1,502	2,121
D. gr. *longispina* %	125	40	<1	<1	<1	41	39
Holopedium. gibberum	11	6	902	2,321	1381	4	<1

The rotifer and cladoceran populations undergo a rapid increase in density consistent with their short life cycle which enables them to take full advantage of favourable environmental conditions. Their number decreases quickly at the end of summer concomitant with a decrease in temperature and algal biomass.

Copepods, represented by calanoid *Acanthodiaptomus denticornis* and cyclopoid *Cyclops abyssorum* fr. *tatricus* are present in all samples in almost equal densities. The copepod population, which is always less than rotifers and cladocerans, is dominated in spring and summer by juvenile stages (naupliar and copepodite) and in fall by adults. There is a doubling of density from May to June and a stationary phase which lasts all summer. In autumn copepod numbers diminish sensibly due to natural mortality and fish predation of the larger life stages present at this time.

On the whole, zooplankton density (8-131 rotifers/L; 3-25 crustaceans/L) is compatible with the oligotrophic state of the lake (Maraglef, 1983). Most of the zooplankton present is herbivorous, which feeds mainly on algae, bacteria and suspended particles (Brooks, 1969). In this lake their principal trophic resource is phytoplankton (Bossone & Tonolli, 1954) mainly represented by chlorophytes, diatoms,

dinoflagellates and chrysophytes (Lencioni, 1996). *C. abyssorum* is the only non herbivore, feeding mainly on copepods and rotifers (Bays & Crisman, 1983).The numerical dominance of rotifers could be lied to size-selective fish predation. Planktivorous fish prefer larger plankton (>1 mm) and in particular cladocerans (Hutohinson, 1967). The lake does have a resident fish population that is in part planktivorous *(Salmo trutta, Salvelinus fontinalis and Phoxinus phoxinus).* Fish predation however is not very intense as can be seen from the large dimensions of some cladocerans (see Sec. 3.3).

3.2. Zooplankton Biomass

The contribution of the single groups (rotifer, cladoceran and copepod) to zooplankton biomass is very different from numerical density (Fig. 2). Biomass peaks in June with ca. 1700 mg m^{-3}; while in May, September and November values are markedly lower (41-56 mg m^{-3}). Cladocerans are always dominant; in June and August their dry weight is about two orders of magnitude greater then the other two groups. The June and August peaks are due to *Holopedium gibherum,* while the much smaller May, September and November peaks are due to *Daphnia* gr. *longispina.* It is interesting to note how these two cladocerans with similar food requirements, both utilizing algal particles smaller than 30 mm and with high filtration rates (Walters *et al.,* 1990) have exploited slightly different periods for the maximum development of their populations. Copepod dry weight almost equally distributed between calanoids and cyclopoids, is fairly Constant in all sampling periods with a small peak in August. Rotifers also have a peak in August but their contribution is minimal to zooplankton biomass.

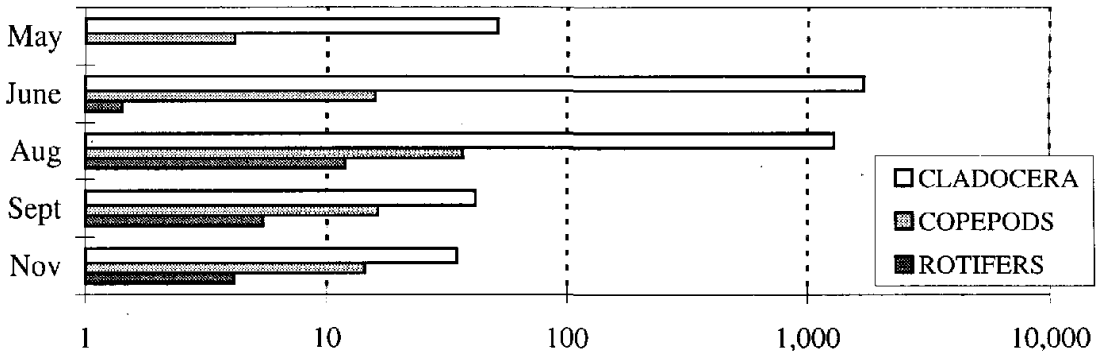


Fig. 2 - Biomass (mg/cubic meter) for the major zooplankton groups in Lake Malghette - 1995.

3.3 Life Cycle and Biometric Analysis of the Major Zooplankton Components

3.3.1 *Kellikottia longispina*

This rotifer which is a major component of the zooplankton community, is a perennial, multivoltine species. Body size is fairly Constant for all sampling dates. Average length of the major axis is 0.15 mm in May and 0.14 mm from June to November.

3.3.2. *Cyclops abyssorum* fr. *tatricus*

In May the population is about equally divided between ortho and meta nauplii larval stages and juvenile stages (Fig.3). Naupliar density is drastically reduced between

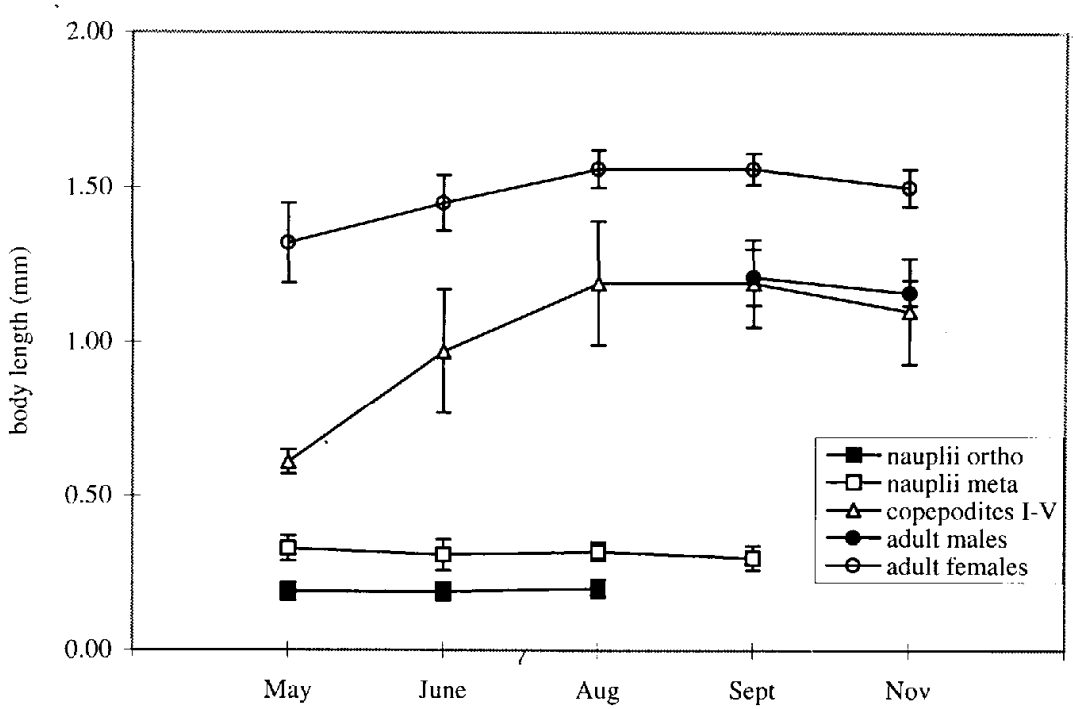


Fig. 3 - Average body length and standard deviation of the various development stages of *Cyclops abyssorum tatricus* for the different sampling dates (1995).

August and September while copepodite density declines between September and November. This can be explained not only by the development of one stage to the next, but also by mortality due to diminishing food supply, low water temperatures and fish predation. In November, the population consists of female and male adults. Adult ovigerous and non-ovigerous females are present in all sampling dates, with maximum fecundity in June (average of 18 eggs/female) concomitant with maximum density (ca 4000 ind/m^3). Adult males on the other hand, appear only in September. The highest biomass value for *Cyclops* occurs in August (15 mg/m^3) and is attributable to the larger life stages present. *C. abyssorum* is probably monocmic in this lake with a winter diapause that involves both adult and preadult stages. This could be verified with a winter sampling. Ovigerous females in May indicate that the winter population is composed mainly of females which are able to ensure Constant egg production. Fertilized cyclopoids can produce eggs for an indefinite period of lime (Ravera, 1954).

Adult body length falls within the range indicated by Dussart (1969). It is interesting to see how the single developmental stages have a fairly Constant length as the season progresses (Fig. 3). Copepodites (stages I-V) obviously show an increase in length with time; while in June, August and September the high standard deviation indicates the presence of more than one copepodite stage.

3.3.3. *Acanthodiaptomus denticornis*

Body size (length) of the various developmental stages of this calanoid in Lake Malghette is illustrated in Fig. 4. In May the population consists of ortho and meta

nauplii. In June both naupliar and I, II and III copepodite stages were found. In August all developmental stages are present (naupliar, copepodite and adult). This is the sampling with the highest calanoid density (Tab. 1) and biomass (22 mg/m^3). Females are

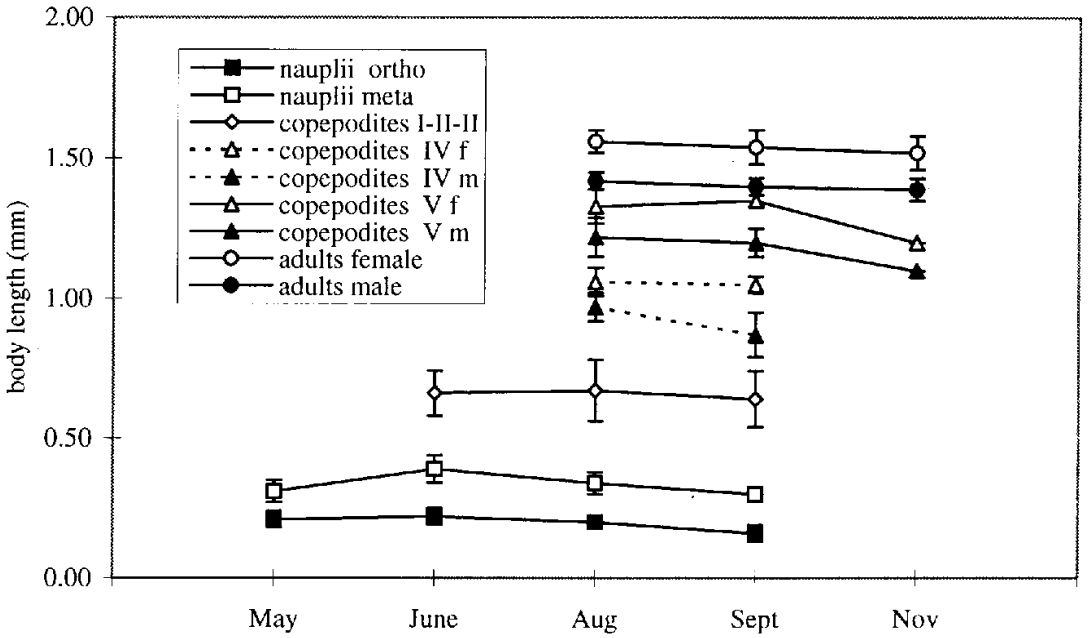


Fig. 4 - Average body length and standard deviation of the various developmental stages of *Acanthodiaptomus denticornis* for the different sampling dates (1995).

always numerically dominant over males and maximum fecundity is reached in August with an average of 13 eggs/female. Adult males appear earlier than those of *Cyclops,* probably due to the necessity of *A. denticornis* to produce resting eggs which enable them to survive the long winter. In Lake Malghette this species can be described as univoltine, monocyclic and monacmic.

A. denticornis is smaller (&2.5-2.6 mm and %2.1-2.2 mm) and exhibits some morphological variations of the fifth pair of appendages with respect to the species described by Stella (1984). As for *C. abyssorum* body length for the various life stages is fairly Constant; maximum standard deviation for length measurements is found for copepodites I, II and III (Fig. 4).

3.3.4. *Daphnia* gr. *longispina*

The *Daphnia* population, with the exception of November, consists mainly of non-ovigerous females. Males are present only in September and November, and ephippial females only in November. Parthenogenic females reach their peak (ca. 17 x 10^3 m^3) in August, but maximum fecundity is in June with an average of 6 eggs per female

Average body length indicates that non ovigerous females tend to increase in size from May to November. Egg production (parthenogenic females) is associated with a minimal body length of 1.4 mm in Lake Malghette (Fig. 5. The ageing of the daphnid

population is underlined by reduced standard deviation values between September and November for both non ovigerous and parthenogenic females. This is concomitant with a drastic reduction in population numbers and the appearance of ephippial females.

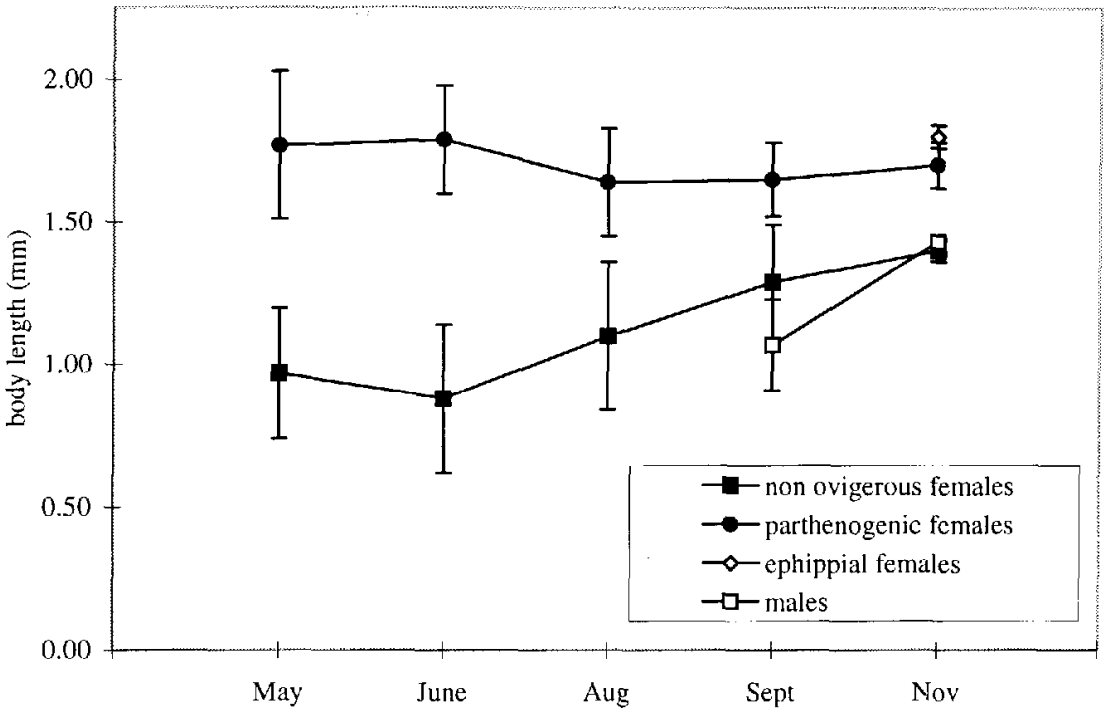


Fig. 5 - Average body length and standard deviation of the various development stages of *Daphnia* gr. *longispina* for the different sampling dates (1995).

Body length falls within the range reported for *D. longispina* (1.2-2.5 mm) but some morphological characteristics are intermediate or similar to *D. zschokkei* (body shape, rostrum, abdominal processes, etc.) which also belongs to the *longispina* group (Margaritora, 1983). A definite species attribution of the *Daphnia* population of Lake Malghette is certainly an interesting challenge.

3.3.5. *Holopedium gibberum*

H. gibberum is the major component of zooplankton biomass in spring and early summer. In May the population consists of non parthenogenic females, while in June it is about equally divided between parthenogenic and non parthenogenic females (Tab. 1). *H. gibberum* undergoes a drastic reduction in the August sampling and is practically absent from then on. In this lake it is a late spring/summer monacmic species and probably is favoured with respect to *Daphnia* only at cold water temperatures

Body length increases from one sampling to the next, both for young (non ovigerous) and parthenogenic forms (Fig. 6). The May population exhibits a remarkable homogenicity of body dimensions indicating a synchronous hatching from resting eggs. In subsequent samplings an increase in standard deviation values may be due to late hatching and/or different individual growth rates. In Lake Malghette average body length of *H. gibberum* never reaches the size (1.5 mm) reported by Margaritoria (1983).

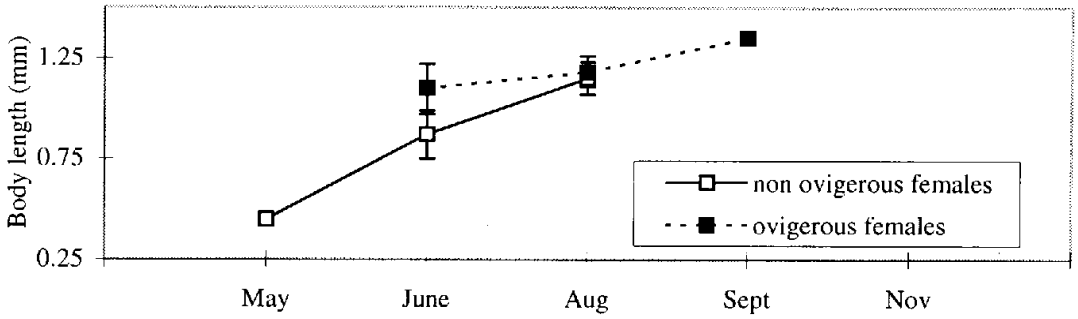


Fig. 6 - Average body length and standard deviation ofr non ovigerous and ovigerous females of *Holopedium gibberum* for the different sampling dates (1995).

4. CONCLUSIONS

The pelagic zooplankton community of Malghette Lake is typical of alpine lakes (Margelef, 1983). Two cladoceran and two copepod species and five genera of rotifers are present. Species richness in not high, but the number of organisms is abundant especially when one considers the oligotrophic nature of the lake. In particular, the presence of a single calanoid species is typical of small lakes with limited habitat diversity (Bossone & Tonolli, 1954). Rotifers are always numerically dominant, but cladocerans contribute most to biomass.

The presence of glacial relics such as *Acanthodiaptomus denticornis* and *Holopedium gibberum,* are interesting remnants from the Quaternary period and common only in the colder waters of Northern Europe. The lake is also characterised by the presence of several ecotypes with dimensional or morphological peculiarities with respect to species already described. This phenomena is probably due to micro evolutionary processes related to the isolated conditions of many mountain lakes and infraspecies competition.

BIBLIOGRAPHY

APHA-AWWA-WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA ed., Washington, DC. 17 ed.

Bays J.S. & Crisman T.L. 1983. Zooplankton and Trophic State Relationships in Florida Lakes. *Con. J. Fish. Aquat Sci.,* 40: 1813-1819.

Beguinot A. 1931. Appunti fitogeografici su alcuni laghi della regione del Garda e del Trentino Occidentale. *Archivio botanico per la sistematica, fitogeografia e* generica, Genova, Vol. VII: 1-28.

Bird D.F. & Prairie Y.T. 1985. Practical guidelines for the use of zooplankton length-weight regression equations. *J. Plankton Rea.* 7: 955-960.

Bossone A. & Tonolli V. 1954. Il problema della convivenza di *Arctodiaptomus bucillifer* (Koelb.), di *Acanthodiaptomus denticornis* (Wierz.) e di *Heterocope saliens* Lill. *Mem. Ist. Italian. Idrobiol,* 8: 81-94.

Brooks J.L. 1969. Eutrophication and Changes in the Composition of the Zooplankton. In: Eutrophication: causes, consequences, correctives (Rohlich G.A. ed.). National Academy of Sciences, Washington: 236-255.

Dussart B. 1969. Les copepodes des eaux continentales d'Europe occidentale. Tome II: Cyclopodes et Biologie. Editions N. Boubèe et Co. Paris. 292 pp.

Engle D. & Melack J.M. 1995. Zooplankton of high elevation lakes of the Sierra Nevada, California: potential effects of chronic and episodic acidification. *Arch. Hydrobiol.* 133: 1-21.

Giussani G., De Bernardi R., Mescilo R., Origgi I. & Ruffoni T. 1986. Indagine limnologica sui laghi alpini d'alta quota. *Meni. Ist. Italian. Idrobiol.,* Documenta n. 9, Pallanza, 409 pp.

Hutchinson G.E. 1967. A Treatise on Limnology. Vol. II: Introduction to lake biology and the limnoplankton (John Wiley & Sons, Inc.). New York. 1115 pp.

Largaiolli V. 1905. Le Diatomee del Trentino: I laghetti di Malghette e di Tovel. *Riv. Tridentum,* Trento, VIII: 73-79.

Larson L.L., McIntire C.D., Karnaugh-Thomas E. & Hawkins-Hoffman C.. 1995. Limnology of isolated and connected high-mountain lakes in Olympic National Park, Washington State, USA. *Arch. Hydrobiol.* 134: 75-92.

Lencioni V. (inedito). Indagine limnologica sul Lago delle Malghette (Trentino Occidentale). *Tesi di Laurea in Scienze Biologiche* Università degli Studi di Milano, 27 feb. 1996.

Margaritora F. 1983. Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. Cladoceri. N. 22. CNR AQ/1/197. 162 pp.

Margalef R. 1983. Limnologia. Ediciones Omega, Barcelona 1010 pp.

McCauley E. 1985. The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. In: A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters (Downing J.L .& Rigler F.R. ed.) Blackwell Sci. Publ.228-265.

Merciai G. 1935.1 laghi della Presanella. *Meni. Museo Trid. Sc. Nat.* 3: 3-34.

Ravera O. 1954. La struttura demografica dei copepodi nel Lago Maggiore. *Mem. Ist. Ital Idrobiol.,* 8: 109-150.

Ruttner-Kolisko A. 1977. Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.,* 8: 71-76.

Stella E. 1984. Fauna d'Italia: Crustacea Copepoda: Calanoida. Edizione Calderini. Bologna. 101 pp.

Tonolli V. 1947. Differenziamento microgeografico in popolazioni planctoniche d'alta montagna. *Mem. Ist. Italian. Idrobiol,* 3: 271-305.

Tonolli V. 1954. Stabilità e produttività del limnobio alpino. *Mem. Ist. Italian. Idrobiol,* 8: 29-70.

Walters C.J., Robinson D.C.E. & T.G. Northcote. 1990. Comparative population dynamics of *Daphnia rosea* and *Holopedium gibberum* in four oligotrophic lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* 47: 401-409.

Wetzel R. & Likens G.E. 1991. Limnological Analyses. Springer-Verlag, NY, 391 pp.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 335 - 342

VARIAZIONI METABOLICHE DURANTE IL CICLO VITALE DI *BALANUS AMPHITRITE:* DATI PRELIMINARI

Simonetta FRASCHETTI[1], Edith CANEPA[2], Sebastiano GERACI[2], Giancarlo ALBERTELLI[3], Giovanni RIALDI[4]

1 Dipartimento di Biologia, Laboratorio di Zoologia, Università di Lecce
2 Istituto di Corrosione Marina dei Metalli, CNR, Genova
3 Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova
4 Istituto di Studi Chimico-Fisici di Macromolecole, CNR, Genova

ABSTRACT

Direct calorimetry has been often utilized in order to obtain important information about the effects of body dimension, temperature and lenght of anoxic state on the metabolic rate of some invertebrates. Even without any environmental stress, life cycle of most invertebrates includes very different stages, ending with the adult stage and corresponding to wide energetic and morphological transformations.

Balanus amphitrite, for instance, is a very common species, present mainly within harbours and man-influenced environments. It is characterised by a very complex life-cycle, in which six naupliar stages are followed by a larva called cypris, being at the same time the last planktonic and the first benthonic stage. All of these stages are characterised by wide morphological transformation. Within the framework of a multidisciplinary study on the marine fouling, the calorie output of this species during different stages of its life-cycle has been measured. Results showed an increasing trend in the calorie output between the n (0.004 µw / individuo, ± 0.002) and the VI stage (0.32 µw / individuo, ± 0.04); it decreased in correspondence of the late VI stage and of that of cypris. Apparently, data are in accordance with those relative to the oxigen estimation.

These results are discussed taking into account the different trophic and energetic requirements during the different stages of *Balanus* life-cycle.

RIASSUNTO

La calorimetria diretta è stata più volte utilizzata al fine di fornire importanti informazioni sugli effetti delle dimensioni corporee, della temperatura e della durata dello stato anossico sui tassi metabolici di alcuni invertebrati. Anche in assenza di stress di carattere ambientale, il ciclo vitale della maggior parte degli organismi include stadi

differenti, che terminano con il raggiungimento dello stadio adulto, che corrispondono a profonde trasformazioni morfologiche ed energetiche.

Il crostaceo *Balanus amphitrite* è una specie molto comune ed è caratterizzato da un ciclo vitale complesso in cui sei stadi naupliari planctonici vengono seguiti da una larva detta cypris. Questi stadi vanno incontro a profonde modificazioni morfologiche. Nell'ambito di un progetto multidisciplinare sul fouling marino, è stato misurato il tasso di dissipazione di calore di questa specie nelle diverse fasi del ciclo vitale. I risultati hanno messo in evidenza un aumento dell'output calorico totale fra il II (0.004 µw / individuo, ± 0.002) ed il VI stadio (0.32 µw / individuo, ± 0.04) con una diminuzione del tasso metabolico in corrispondenza del tardo VI stadio e del cypris. I dati sono in accordo con quelli relativi al consumo di ossigeno.

Questi risultati vengono discussi tenendo conto delle diverse necessità trofiche ed energetiche durante le diverse fasi del ciclo del *Balanus.*

1. INTRODUZIONE

Sino ad oggi, l'energetica ed il metabolismo della maggior parte degli invertebrati è stata analizzata tramite analisi indirette su microscala delle componenti biochimiche o tramite misure di consumo di ossigeno. Più recentemente, l'uso delle tecniche microcalorimetriche ha consentito di aggiungere nuove informazioni in questo ambito soprattutto in relazione agli adattamenti in ambienti anossici (Wang & Widdows, 1993; Fritzshe & Von Oertzen, 1995; Finn *et al.,* 1995).

Il crostaceo *Balanus amphitrite* è una specie molto comune soprattutto nei porti e negli ambienti marini antropizzati. E' caratterizzato da un ciclo vitale complesso in cui sei stadi naupliari planctonici vengono seguiti da una larva detta cypris che è nello stesso tempo l'ultimo stadio planctonico ed il primo bentonico. Questi stadi sono caratterizzati da profonde modificazioni morfologiche (Geraci & Romairone, 1986). La biologia delle larve di balano è stata studiata approfonditamente per i risvolti di natura applicativa riguardanti il fouling. Lucas *et al.* (1979) hanno considerato il budget energetico e la sua suddivisione nelle differenti attività vitali concentrandosi esclusivamente sul cypris di *Balanus balanoides* mantenuto in laboratorio in condizioni sperimentali differenti. Per quel che riguarda invece *Balanus amphitrite* non sono stati pubblicati dati di calorimetria diretta in grado di fornire dati quantitativi sul suo metabolismo basale.

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito di un progetto multidisciplinare sul fouling marino ed ha come fine di individuare le variazioni metaboliche nelle diverse fasi del ciclo vitale del *Balanus.* Vista l'elevata sensibilità dello strumento utilizzato, il tasso di dissipazione di calore di questa specie è stato misurato in modo di valutare se alle trasformazioni morfologiche corrispondano significative trasformazioni di carattere energetico, cercando di quantificare anche la componente aerobia ed anaerobia del metabolismo stesso ed interpretando i risultati ottenuti in chiave adattativa.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Mantenimento delle colture

Gli adulti di *B. amphitrite* sono stati raccolti in corrispondenza di una stazione situata nell'ingresso orientale del Porto di Genova, su strutture di proprietà dell'Istituto di Corrosione Marina dei Metalli.

Gli organismi adulti sono stati allevati ad una temperatura di 25°C ed alimentati ogni due giorni con *Artemia salina* e *Tetraselmis suecica.* Alla liberazione degli stadi naupliari, le larve sono state mantenute in acqua di mare filtrata a 0.45 μm ed alimentati con *Monochrisis lutheri* e *T. suecica* ad una densità di 10^6 cell/ml. In 5-6 giorni i nauplii raggiungevano lo stadio di cypris (Fig. 1). Ogni giorno è stato effettuato il controllo degli stadi raggiunti tramite osservazioni dirette al binoculare.

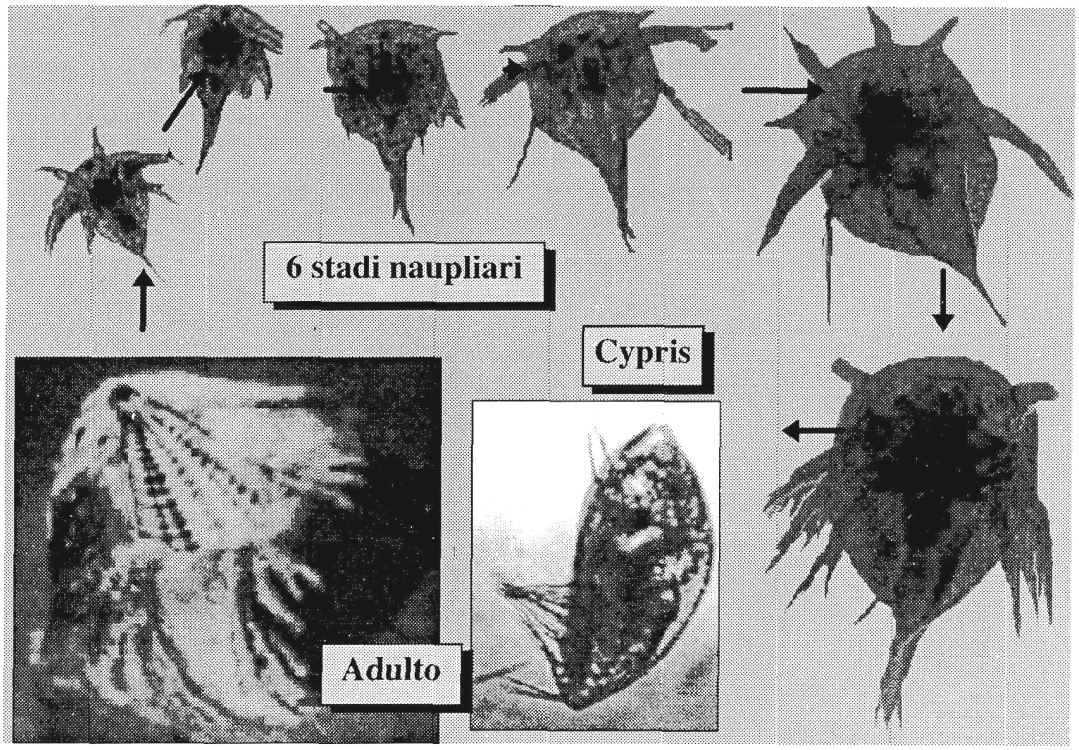


Fig 1 - Ciclo vitale di *B. amphitrite* (da Geraci, 1996).

Dalla cultura di partenza, 100 larve sono state trasferite nella cella del microcalorimetro in 0.8 mi di acqua di mare filtrata a 0.45 μm; 250 larve sono state prelevate per misurare il consumo di ossigeno e la produzione di acido lattico, 1000 larve dei primi stadi e 500 degli stadi più avanzati sono state contate per il calcolo del peso secco.

Tetraselmis suecica e *M. lutheri,* utilizzate per alimentare le larve, venivano mantenute in un mezzo di acqua di mare naturale stabulata, con salinità corretta a 37 ‰ e terreno di coltura di Walne aerato, in camera termostata ad una temperatura di 20 °C ± 1, con un fotoperiodo di 16 ore di luce e 8 di buio.

2.2 Analisi dei campioni

Il peso delle larve (g peso secco DW) è stato ottenuto dopo permanenza in stufa a 120°C per 24 ore. Per le pesate è stata utilizzata una Mettler (modello AT 261, 5 decimali). E' stata riscontrata una correlazione significativa fra peso e lunghezza (r^2 = 0,8273, $p < 0.5$).

Il tasso di dissipazione di calore è stato misurato attraverso calorimetria isoterma, una tecnica non invasiva utilizzata per misurare il budget energetico totale. Le larve venivano poste in cellette da 3 ml con acqua di mare e phytoplancton a concentrazione ed effetto termico noti. Le misure sono state condotte ad una amplificazione di 30 µw. Per ogni stadio sono state condotte almeno 4 prove. La misura aveva una durata di circa due ore, compreso il raggiungimento dell'equilibrio termico.

Per una migliore interpretazione dei dati calorimetrici, sono state calcolate la superficie naupliare ed il volume, dopo aver assimilato la forma del nauplio a quella di un cono (Fig. 2). Le misure di cui si è tenuto conto sono la lunghezza totale degli individui, la larghezza e lo spessore. Il diametro del cono è stato ottenuto facendo una media fra larghezza e spessore.

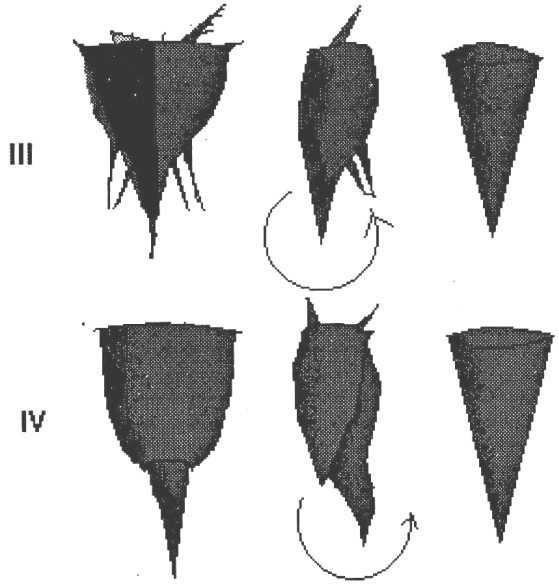


Fig. 2 - Assimilazione del volume naupliare alla geometria di un cono.

Il tasso di consumo di ossigeno è stato misurato con un elettrodo Orion mod.97.08.00, connesso ad un voltmetro. Le misure avevano la durata di due ore, ad una temperatura di 25°C. I dati ottenuti sono stati corretti per la salinità della soluzione (37 ‰) con un fattore di conversione pari a 0.69.

La produzione di acido lattico è stato calcolata seguendo il metodo di Noll (1974). Il test per il lattato è stato condotto su 5 campioni di naupliі (stesso numero di individui in 3 ml di acqua di mare filtrata) mantenuti ad una temperatura di 25 °C. L'esperimento aveva una durata di circa un'ora e venti. Ogni venti minuti, un campione di naupliі veniva sonicato e sottoposto alle analisi per saggiare la concentrazione di acido lattico.

3. RISULTATI

Come si può osservare in Fig. 3, il tasso di dissipazione di calore per un nauplio variava fra 0.004 µw / individuo (± 0.002) e 0.32 (± 0.04). Si assiste infatti ad un aumento significativo ($p < 0.05$) del metabolismo basale con un picco in corrispondenza del VI stadio, seguito da una rapida diminuzione negli stadi immediatamente successivi.

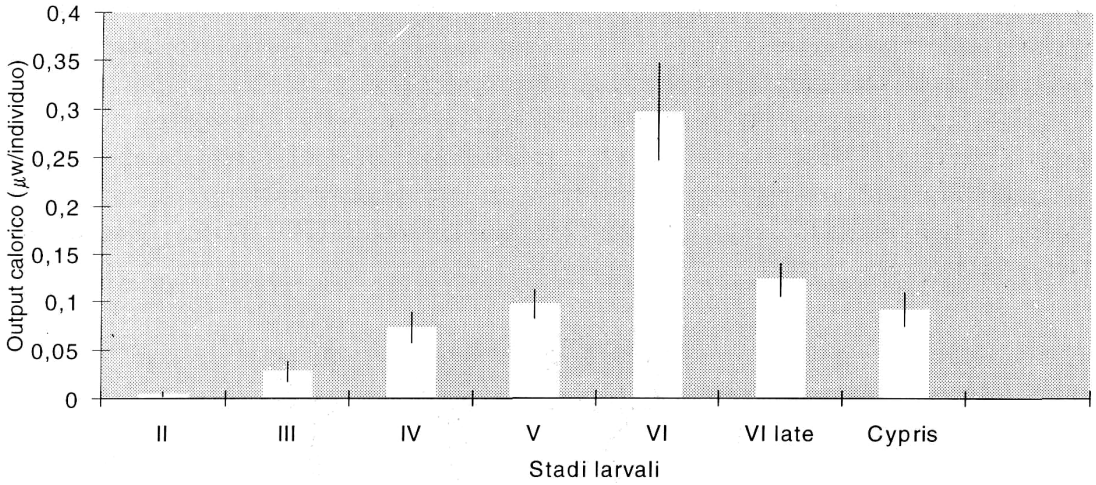


Fig 3 - Variazioni di output calorico (µw) / individuo nelle diverse fasi del ciclo del *B. amphitrite*.

Simile andamento è stato osservato facendo il rapporto fra output calorico e biomassa (mg DW) (Fig. 4). In questo caso, tuttavia, l'aumento si osserva già a partire del tardo V stadio.

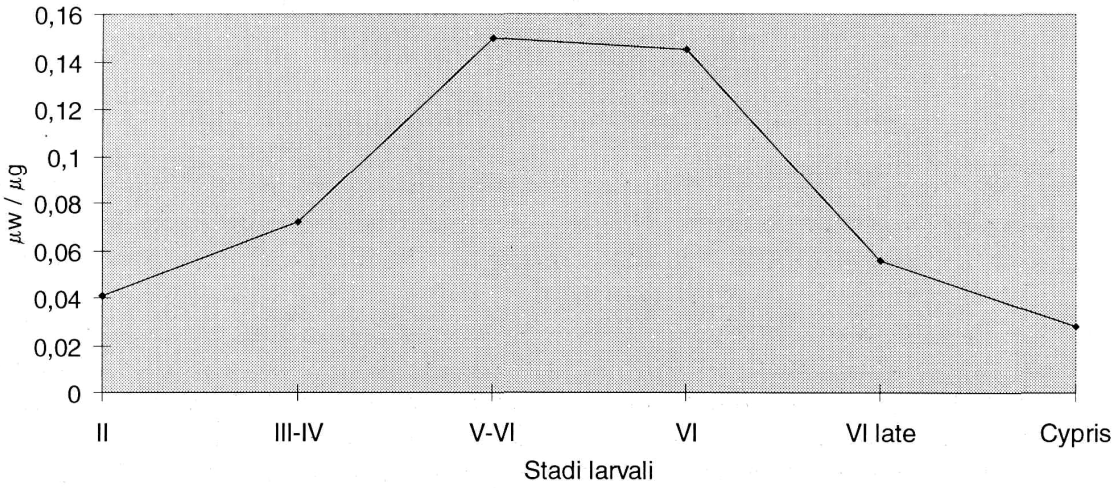


Fig. 4 - Rapporto output calorico / peso nelle diverse fasi del ciclo del *B. amphitrite*.

Tali risultati sono stati confermati anche tenendo conto del volume e della superficie nei diversi stadi (Fig. 5b, 5c).

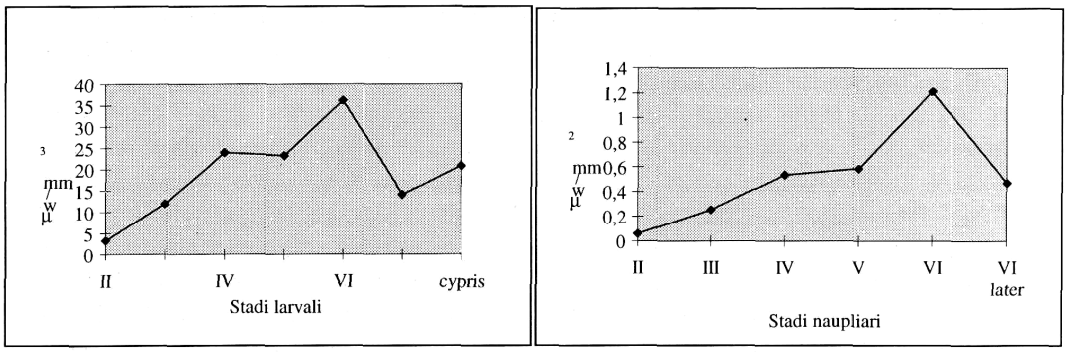


Fig. 5 - Rapporto output calorico /.superficie a) e output calorico / volume b) in *B. amphitrite*.

Nonostante la significativa differenza metabolica osservata nelle diverse fasi del ciclo del *Balanus,* il tasso di consumo di ossigeno (D O_2, mg/1) decresce in modo assai regolare (Fig. 6).

La concentrazione di acido lattico è stata valutata nel III e nel VI stadio. In entrambi i casi è risultata assai bassa (avg 0.05 mmoli/l), anche se in leggero aumento nell'intervallo di tempo considerato.

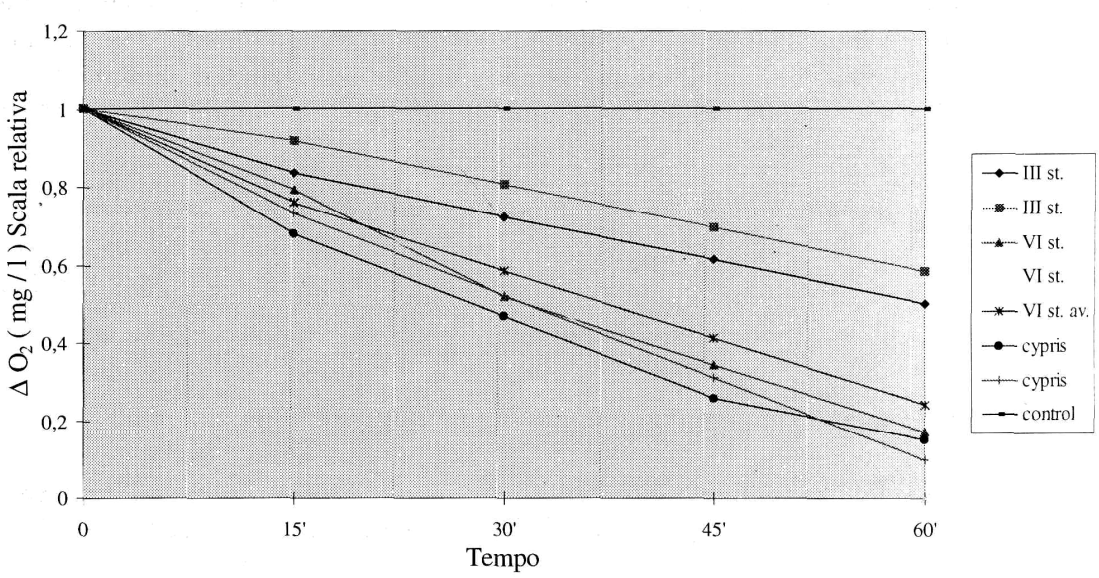


Fig. 6 - Consumo di ossigeno di alcuni stadi di *B. amphitrite*.

4. DISCUSSIONI

La quantificazione del metabolismo basale di *B. amphitrite* si dimostra utile soprattutto quando si consideri che si tratta di specie assai importante del fouling marino e che quindi diventa preziosa una conoscenza dettagliata delle sue caratteristiche energetiche per uno studio relativo all'insediamento.

La calorimetria diretta si presta molto bene a questo tipo di analisi. I nostri risultati confermano che lo strumento usato è assai sensibile ed è in grado di valutare variazioni anche minime del metabolismo di specie a ciclo vitale complesso.

In bibliografia sono pochi i dati con cui sia stato possibile confrontare i nostri risultati. Tuttavia, un output calorico simile a quello registrato in questo studio è stato riscontrato negli embrioni in via di sviluppo e nelle larve di rombo (Finn *et al.,* 1995).

Apparentemente, le differenze metaboliche sono risultate significative fra il VI e gli altri stadi ma non significative fra il cypris, che presenta caratteristiche morfologiche ed ecologiche marcatamente diverse, e gli stadi naupliari precedenti, ad eccezione del VI. Infatti, l'output calorico registrato a livello di cypris è assai inferiore a quello registrato nell'ultimo stadio naupliare, ma risulta simile a quello dei primi stadi. L'interpretazione di questi risultati, anche alla luce dei dati relativi all'ossigeno, è difficile; bisogna tenere conto dell'accumulo di materiale di riserva che interviene negli ultimi stadi e soprattutto nel cypris (che non si alimenta). Tuttavia, l'effetto termico non sembra implicare processi anaerobi di carattere ossidativo in atto visto il bassissimo contenuto di acido lattico.

È da sottolineare comunque che la calorimetria è una tecnica non specifica, a meno che i profili termici non vengano caratterizzati biochimicamente.

I risultati suggeriscono che una diversa condizione naupliare potrebbe influenzare il successo del cypris, che a seconda della quantità di riserve accumulate, potrebbe essere differentemente in grado di sopportare condizioni sfavorevoli e di colonizzare nuovi substrati. Saranno necessarie ulteriori analisi di caratterizzazione biochimica per quantificare le diverse componenti metaboliche che determinano le variazioni osservate.

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo ringraziare il Dr M. Faimali per la gentile assistenza offerta durante la stesura del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

Finn R.N., Widdows J. & Fynn H.J. 1995. Calorespirometry of developing embryos and jolk-sac larvae of turbot *(Scophthalmus maximus). Mar. Biol.,* 122: 157-163.

Fritzshe D. & Von Oertzen J.A. 1995. Metabolic responses to changing environmental conditions in the brackish water polychaetes *Marenzelleria viridis* and *Hediste diversicolor*. *Mar. Biol.,* 121: 693-699.

Geraci S. 1996. Efficacia di biocidi per pitture antifouling e loro impatto ambientale. Atti Congresso EUROCOAT, Genova, 18-20 Settembre: 300-3I1.

Geraci S. & V. Romairone. 1986. Larval stages and *Balanus* (Cirripedia) settlement in a port environment with a key to naupliar stages of Tyrrhenian species. *P.S.Z.N.I Mar. Ecol.,*7 (2): 151-164.

Lucas M.I., Walker J., Holland D.L. & Crisp D.J. 1979. An energy budget for the free swimming and metamorphosing larvae of *Balanus balanoides* (Crustacea: Cirripedia). *Mar. Biol.,* 55: 221-229.

Noll F. 1974. L (+) Lactate. Determination with LDH, GPT and NAD. In: Methods of Enzymatic Analysis (Bergmeyer U. ed.), 2nd ed., Verlag Chemie Weinheim and Academic Press, Inc., New York and London: 4 vols.

Wang W.X. & Widdows J. 1993. Physiological responses of mussels larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 70: 223-236.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 343 - 348

GLI EFFETTI DEL CADMIO SULLA SOPRAVVIVENZA E LA PRODUZIONE DI UOVA DI *ACARTIA CLAUSI,* GIESBRECHT (COPEPODA, CALANOIDA)

Olga FARAPONOVA, Oscar RAVERA

Università di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali
Campo della Celestia, Castello 2737/B, 30122 - Venezia

ABSTRACT

The effects of three cadmium ($Cd\ Cl_2$) concentrations (50, 100 and 200 µg $Cd \cdot 1^{-1}$) on adult females of *Acartia clausi* (marine copepod) have been evaluated. The mortality increased with cadmium concentration and it seemed that the copepod died after having accumulated a certain amount of cadmium in its body. Egg production increased, with fluctuations, from the beginning to the end of the experiment, as in the control females as well as in the contaminated ones. Since the used concentrations were far higher than those measured in the open sea, we may conclude that, except in a very polluted coastal areas, cadmium in the natural environment cannot influence *Acartia* populations. This hypothesis should be tested by experiments on egg viability and development stages exposed to cadmium concentrations lower than 50 $\mu g \cdot 1^{-1}$, concentration which has a weak influence on the adult.

1. INTRODUZIONE

L'informazione sugli effetti del cadmio sui Crostacei Entomostraci è molto scarsa e la maggior parte concerne esperimenti a breve termine sul gen. *Daphnia* (es. Cebejszek and Stasiak, 1960; Biesinger and Christensen, 1972; Alabaster and Lloyd, 1980; Bellavere and Gorbi, 1981). Gli esperimenti di Marshall (1978) di 22 settimane su *Daphnia galeata mendotae* sono tra i pochi esperimenti a lungo termine. Dalle scarse informazioni disponibili sembrerebbe che i Cladoceri siano più sensibili al cadmio dei Copepodi. Ad esempio, dagli esperimenti di Baudouin and Scoppa (1974) risulta che il valore di CL 50 (48 h) per *Cyclops* sp. è equivalente a 3800 ppb, mentre sono sufficienti 665 ppb per ridurre in 48 h la densità di un lotto di *Daphnia hyalina* del 50%. Kerrison *et al.* (1980), in esperimenti in "enclosures" ancorate in un lago poco profondo ed eutrofizzato (Lago di Comabbio, Provincia di Varese), hanno osservato che la concentrazione di 100 ppb riduceva la densità di popolazione dei Copepodi, ma eliminava completamente i Cladoceri. Nello stesso esperimento è risultato che concentrazioni di 10 e 50 ppb non avevano alcun effetto evidente sulla densità di

popolazione dei Copepodi. Hoppenheit (1977) ha valutato l'effetto di elevate concentrazioni di cadmio (148 ppb e 22 ppb) su 20 generazioni successive del Copepode marino bentonico *Tisbe holoturiae.* Dopo un declino iniziale della popolazione contaminata, la densità di questa era simile a quella del controllo alla fine dell'esperimento. Questo, secondo l'autore, era l'effetto dell'adattamento della popolazione al cadmio. L'elevata resistenza al cadmio del gen. *Tisbe* era già stata osservata da altri autori (es. Anderson, 1950; Eisler, 1971; Hutchinson, 1994). Sulla base di queste informazioni è sembrato interessante valutare gli effetti del cadmio sulla sopravvivenza e la produzione di uova di un copepode marino planctonico: *Acartia clausi.*

2. MATERIALI E METODI

Gli esemplari di *Acartia clausi* che hanno dato origine all'allevamento sono stati raccolti nella Laguna di Venezia (bacino centrale). Dall'allevamento, mantenuto per più generazioni in laboratorio a 20°C, è stato isolato casualmente un certo numero di femmine, le quali sono state poste in un cristallizzatore con acqua di laguna filtrata su filtri di fibre di vetro (luce = 0.45 µm). Dopo 24 ore le femmine sono state eliminate e le uova deposte in questo intervallo di tempo poste in allevamento perché completassero il loro sviluppo fino allo stadio adulto. Raggiunto questo stadio, sono state isolate 120 femmine, l'età delle quali variava al massimo di 24 ore, le quali sono state distribuite in 12 capsule di vetro da 200 ml (10 ind/capsula). Tre capsule erano tenute per controllo, le restanti nove, suddivise in tre gruppi di tre capsule, erano contaminate con $CdCl_2$ per ottenere rispettivamente le concentrazioni di: 50 µg $Cd \cdot 1^{-1}$, 100 µg $Cd \cdot 1^{-1}$ e 200 µg $Cd \cdot 1^{-1}$. Queste concentrazioni sono state scelte sulla base di esperimenti preliminari sulla medesima specie, la quale era insensibile a concentrazioni di cadmio inferiori a 50 µg$\cdot 1^{-1}$. Il polluente era aggiunto all'acqua di laguna (salinità = 35%; pH = 8.2) filtrata su filtri di fibra di vetro (0.45 µm). Ogni 24 ore le uova deposte venivano contate ed eliminate e le femmine sopravvissute contate e trasferite in altre capsule con acqua e soluzioni di cadmio rinnovate. A questa veniva aggiunta una certa quantità di una miscela di *Isochrysis galbana* e *Prorocentrum minimum* sufficiente per avere una densità per capsula di 10^5 cellule$\cdot ml^{-1}$. Gli esperimenti erano condotti alla temperatura di 20°C ± 1°C e all'intensità luminosa di 300-400 lux per 8 ore alternate a 16 ore di buio.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Dai dati riportati nella Tab. 1 e dall'andamento nel tempo della densità di popolazione schematizzata nella Fig. 1 risulta evidente la diminuzione dei sopravvissuti all'aumentare della concentrazione di cadmio. Dalla stessa figura risulta evidente che con l'aumentare della concentrazione di cadmio nell'acqua la mortalità inizia sempre più precocemente; infatti, a 200 µg $Cd \cdot 1^{-1}$ i primi morti sono stati contati dopo 24 h dall'inizio dell'esperimento, a 100 µg al 2° giorno, a 50 µg al 4° giorno e soltanto al 7° giorno nel controllo. Questo andamento sembrerebbe dimostrare che l'aumento nel mezzo della concentrazione di cadmio ne acceleri l'accumulo nel copepode fino a raggiungere una concentrazione idonea a provocarne la morte. La produzione di uova

presenta ampie fluttuazioni nel tempo (Fig. 2) ed è evidente a tutte le concentrazioni un aumento del numero medio di uova per femmina dall'inizio alla fine dell'esperimento (Tab. 2), mentre non è evidente un effetto del cadmio sulla produzione di uova anche

Tab. 1 - Variazioni nel tempo della media e della deviazione standard del numero di individui sopravvissuti a diverse concentrazioni di cadmio.

µgCd/l giorno	0	50	100	200
0	10	10	10	10
1	10	10	10	9.67 ± 0.58
2	10	10	9 ± 0	8.33 ± 1.53
3	10	10	8.33 ± 0.58	8.33 ± 1.53
4	10	9.67 ± 0.58	8.33 ± 0.58	8.33 ± 1.53
5	10	8.67 ± 0.58	7.33 ± 0.58	6.00 ± 1.73
6	10	8.67 ± 0.58	7.00 ± 0	5.67 ± 1.53
7	9.33 ± 0.58	8.00 ± 1.73	6.33 ± 0.58	3.33 ± 0.58
8	8.0 ± 1.00	7.67 ± 1.53	6.00 ± 0	1.33 ± 0.58
9	8.0 ± 1.00	7.33 ± 1.15	6.00 ± 0	1.00 ± 1.00

Tab. 2 - Variazioni nel tempo della media e della deviazione standard del numero di uova per femmina deposte a diverse concentrazioni di cadmio.

µgCd/l giorno	0	50	100	200
0				
1	1.57 ± 0.40	0.67 ± 0.15	1.37 ± 0.71	0.40 ± 0.44
2	0.67 ± 0.72	1.40 ± 1.06	1.20 ± 0.56	1.90 ± 0.36
3	1.27 ± 0.81	2.30 ± 0.79	1.57 ± 1.10	1.70 ± 0.54
4	1.10 ± 0.44	3.07 ± 0.78	1.97 ± 0.51	2.20 ± 0.96
5	2.83 ± 1.20	3.37 ± 0.78	2.70 ± 0.89	3.03 ± 1.15
6	3.40 ± 0.70	4.27 ± 1.88	3.53 ± 1.08	4.13 ± 2.71
7	2.77 ± 1.10	2.73 ± 0.74	3.43 ± 1.21	3.27 ± 2.00
8	4.47 ± 0.91	3.37 ± 0.81	2.53 ± 0.25	5.33 ± 2.89
9	5.07 ± 1.62	3.67 ± 1.84	3.57 ± 1.00	5.05 ± 1.48

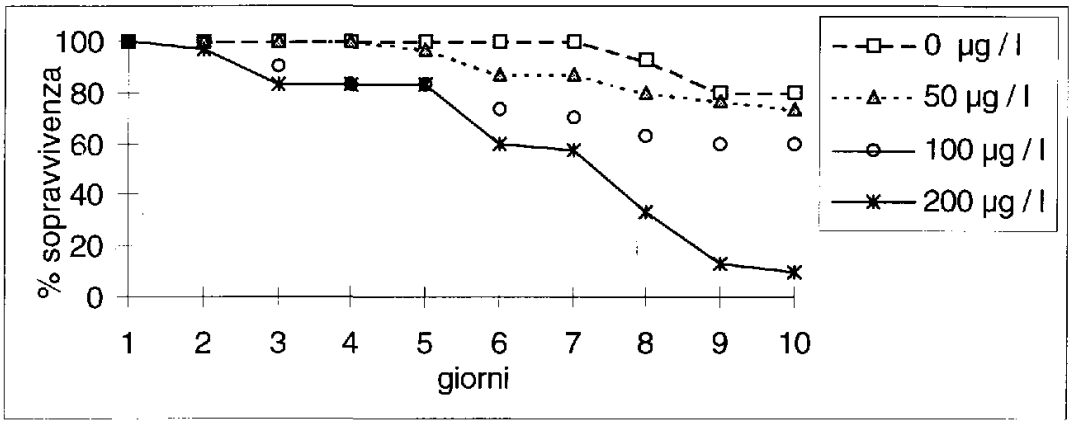


Fig. 1 - Variazione della percentuale di sopravvivenza nel tempo all'aumentare della concentrazione di cadmio.

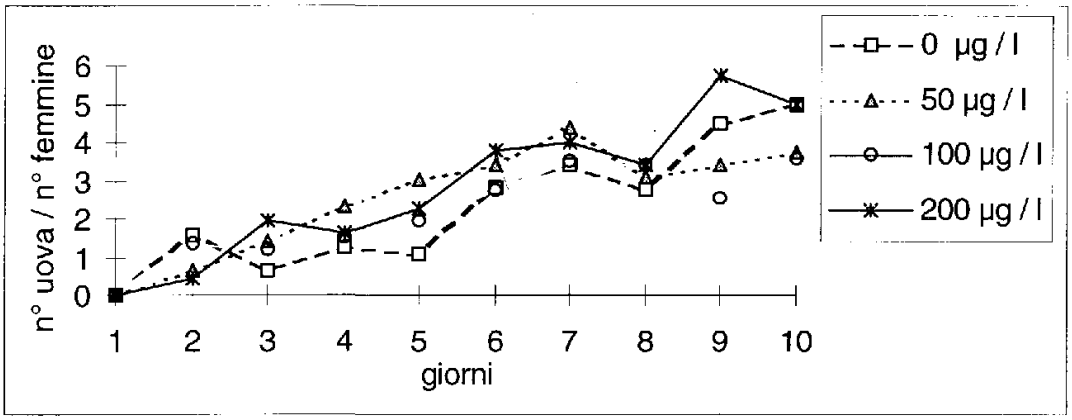


Fig. 2 - Variazione nel tempo della produzione di uova alle diverse concentrazioni di cadmio.

alla concentrazione più elevata (200 µg $Cd \cdot 1^{-1}$). Buttino (1994) ha osservato che l'esposizione della stessa specie per più giorni a concentrazioni di ammoniaca di 120 $\mu g \cdot 1^{-1}$ non soltanto non riduceva il numero di uova per femmina, ma ne aumentava la produzione rispetto a quella del controllo. Dai risultati ottenuti con queste concentrazioni, di gran lunga più elevate di quelle misurate nel mare, le quali sono nell'ordine di decimi di $\mu g \cdot 1^{-1}$ (es. Brooks, 1960; North *et al.* 1970; Taylor, 1982), sembrerebbe che il cadmio nell'ambiente naturale, ad eccezione di zone costiere molto inquinate, non influisca sulle popolazioni di *Acartia clausi.* Tuttavia, questa ipotesi deve essere considerata con grande cautela fino a quando non si avranno informazioni adeguate sulla viabilità delle uova deposte da femmine contaminate e sugli effetti sui diversi stadi di sviluppo provocati da concentrazioni di cadmio dello stesso ordine di grandezza di quelle misurate nel mare. Questi problemi verranno affrontati in ricerche future.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori sono molto grati alla Dott. A. Janora (Stazione Zoologica di Napoli) per i preziosi suggerimenti dati per l'allevamento di *Acartia.*

BIBLIOGRAFIA

Alabaster J.S. & Lloyd R., 1980. Cadmium, In: *Water quality criteria for freshwater fish,* Butterworths, London: 221-251.

Anderson B.G. 1950. The apparent thresholds of toxicity to *Daphnia magna* for chlorides of various metals when added to Lake Erie water. *Trans. Am. Fish. Soc.,* 78:96-113.

Baudouin M.F. & Scoppa F. 1974. Acute toxicity of various metals to freshwater zooplankton. *Bull. envir. Contamin. Toxic.,* 12: 745-751.

Bellavere C. & Gorbi J. 1981. A comparative analysis of acute toxicity of chromium, copper and cadmium to *Daphnia magna, Biomphalaria glabrata* and *Brachydanio rerio. Envir. Technol. Lett.,* 2: 119-128.

Biesinger K.E. & Christensen G.M. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna. J. Fish. Res. Bd Can.,* 29: 1691-1700.

Brooks R.R. 1960. The use of ion exchange enrichment in the determination of trace elements in sea water. *Analyst,* 85: 745-748.

Buttino I. 1994. The effect of low concentrations of phenol and ammonia on egg production rates, fecal pellet production and egg viability of the calanoid copepod *Acartia clausi. Mar. Biol,* 119: 629-634.

Cebejszek I. & Stasiak M. 1960. Studies on the effect of metals on water biocenosis using the *Daphnia magna* index. Part 2. *Rocz. Panstw. Zakl. Hyg.,* 11: 533-540.

Eisler R.J. 1971. Cadmium poisoning in *Fundulus heteroclitus* (Pisces: Cyprinodontidae) and other marine organism. *J. Fish. Res. Bd Can.,* 28: 1225-1234.

Hoppenheit M. 1977. One the dynamics of exploited populations of *Tisbe holothuriae* (Copepoda, Harpacticoida). *Helgoländer wiss. Meereaunters,* 29: 503-523.

Hutchinson T.H. 1994. Toxicity of cadmium, hexavalent chromium and copper to marine fish larvae *(Cyprinodon variegatus)* and copepods *(Tisbe battagliai). Mar. Environm. Res.,* 38: 275-278.

Kerrison P.H., Sprocati A.R., Ravera O. & Amantini L. 1980. Effects of cadmium on an aquatic community using artificial enclosures. *Envir. Technol. Lett.,* 1: 169-176.

Marshall J.S. 1978. Population dynamics of *Daphnia galeata mendotae* as modified by chronic cadmium stress. *J. Fish. Res. Bd Can.,* 35: 461-469.

North W.J., Stephens G.C. & North B.B. 1970. Marine algae and their relations to pollution problems. FAO Technical Conference on Marine Pollution and its Effects on Living Resources and Fishing, Rome 1970.

Taylor D. 1982. Distribution of heavy metals in the water of a major industrialised estuary. *Envir. Technol. Lett.,* 3: 137-144.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Voi. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 349 - 359

PREVEDIBILITA TEMPORALE DELLE COMUNITÀ DI FONDO MOBILE E RUOLO DEGLI EVENTI DI POST-INSEDIAMENTO: ALCUNI ESEMPI

Simonetta FRASCHETTI, Adriana GIANGRANDE

Dipartimento di Biologia, Laboratorio di Zoologia, 73100 Università di Lecce

RIASSUNTO

Recentemente, alcuni studi sull'ecologia delle comunità di fondo mobile hanno valutato la possibilità di prevedere l'andamento e gli aspetti quantitativi delle comunità macrobentoniche a partire dallo studio delle forme larvali e giovanili. In generale la conclusione è che il problema stock-reclutamento, che prende origine dagli studi sull'ecologia della pesca, non è meno complesso nell'ecologia bentonica. Facendo riferimento a questa problematica, vengono analizzate le dinamiche di popolazione di tre specie di policheti *(Spio decoratus, Scolaricia typica, Nephtys cirrosa)* ed una di bivalve *(Spisula subtruncata)* di una stazione costiera di fondo mobile. Di tali specie vengono prese in considerazione le interazioni macrofauna-meiofauna temporanea nel corso di un anno (Gennaio 1992 - Aprile 1993): comparsa delle forme giovanili nel sedimento, transizione meiofauna-macrofauna, influenza quantitativa e qualitativa di tale input nella struttura della popolazione adulta. I risultati evidenziano una certa prevedibilità fra tempi di insediamento e comparsa nella comunità adulta fra le specie a ciclo breve, o con presenza stagionale, mentre è assai più complessa la comprensione di tali interazioni nelle specie a ciclo lungo, costantemente presenti. In tutti i casi, comunque, è stato riscontrato un fortissimo tasso di mortalità (sempre superiore al 90 %), tale da far ritenere come gli eventi successivi all'insediamento abbiano un ruolo assai importante nel determinare la struttura della comunità adulta.

SUMMARY

Recently, several studies relative to the soft bottom macrobenthic ecology tried to understand if it is possible to predict trend and quantitative features of the macrobenthic community, studying larvae and juveniles forms. The general conclusion is that the stock-recruitment problem, belonging to the fisheries ecology, is no less complex in benthic ecology. In this framework, the population dynamics of three polichaetes *(Spio decoratus, Scolaricia typica, Nephtys cirrosa)* and one bivalve *(Spisula subtruncata)* has been analysed. It has been considered the macrofauna-temporary meiofauna interactions along a one year study (January 1992 - April 1993): the appearance of juveniles into the sediments, the meiofauna-macrofauna transition, the quantitative and qualitative influence of this input on the adult macrofauna structure. The results show a certain level of predictability between the timing of settlement and the appearance in the adult community within the species characterized by a short life-cycle. It seems to be more difficult to find out the same predictability within the species with a long life-cycle. Anyway, all the species where characterized by a very high mortality rate (always over the 90 %), stressing the role of the post-settlement events in determining the adult community.

1. INTRODUZIONE

Fino agli anni '80, la maggior parte degli studi sulla struttura delle comunità era basala sull'assunzione che le condizioni fossero in equilibrio e che la regolazione delle popolazioni dipendesse soprattutto da fattori densità-dipendenti: predazione e competizione venivano, quindi, ritenute le maggiori responsabili della struttura di comunità (Cody, 1968; Diamond, 1978). Successivamente, sono stati sviluppati modelli di non-equilibrio che evidenziano l'importanza di fattori stocastici come, in particolare, il reclutamento e le sue conseguenze demografiche.

Questo cambiamento di vedute si riflette nelle ricerche predittive a lungo termine riferite a comunità di diversi comparti ecologici.

Nei modelli relativi alle popolazioni nectoniche, ad esempio, esiste una grande mole di lavori che hanno cercato di incorporare l'importanza potenziale del reclutamento nelle popolazioni adulte (Hjort, 1914; Cushing, 1975; Fogarty *et al.,* 1991). Tuttavia i modelli stock adulti-reclutamento, utilizzati nel tentativo di regolare la pesca, si sono dimostrati di uso assai limitato.

Nel benthos, il concetto di *comunità aperta* introdotto dalla *supply side ecology* (Underwood & Fairweather, 1989) ha sottolineato l'importanza degli eventi pre-insediamento nelle comunità di fondo duro, enfatizzando comunque una vecchia ipotesi di Thorson (1950) postulata per spiegare le fluttuazioni di specie di fondo mobile (Booth & Brosnam, 1995).

Attualmente, è comunque evidente come il tentativo di dimostrare una relazione fra ecologia delle larve, modalità di riproduzione-e dinamica delle popolazioni adulte non sia ancora così chiara. Sembra inoltre che gli eventi di post-insediamento siano preponderanti nei fondi mobili (Osman *et al.,* 1989; Fogarty *et al.,* 1991; Bachelet *et al,* 1992; Chardy & Dauvin, 1992; Fraschetti, 1994; Olafsson *et al.,* 1994; Bonsdroff *et al.,* 1995; Danovaro *et al.,* 1995; Fraschetti, 1996; Fraschetti *et al.,* in stampa -b), diminuendo così le possibilità di previsione degli andamenti delle comunità partendo dalla quantità di larve nella colonna d'acqua e di giovani nelle prime fasi di insediamento.

Lo scopo del presente lavoro è quello di fornire nuovi dati sulle possibilità di prevedere l'andamento della comunità adulta partendo da informazioni sulle forme giovanili, in base alle osservazioni condotte su quattro specie di invertebrati con cicli vitali differenti.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Campionamento

I campionamenti sono stati condotti da Gennaio 1992 ad Aprile 1993 nel Golfo Marconi (Mar Ligure, Mediterraneo nord occidentale) su fondo sabbioso a 10 m di profondità (Fig. 1).

La meiofauna temporanea è stata raccolta utilizzando carotatori di PVC (diametro di 6.0 cm, 28.5 cm^2) effettuando quattro repliche di dodici centimetri di profondità.

I campioni di meiofauna temporanea sono stati fissati con formaldeide al 4 % in acqua di mare. I sedimenti sono stati setacciati con una maglia da 0.5 mm e da 80 µm dopo decantazione. Le forme giovanili dei policheti e del bivalve sono state contate e classificate con uno stercomicroscopio dopo colorazione con Rosa Bengala (0.5 g l^{-1}).

La macrofauna è stata raccolta utilizzando una sorbona (Tunberg, 1983) (area di 0.1 m^2, 20 cm di profondità) su otto repliche.

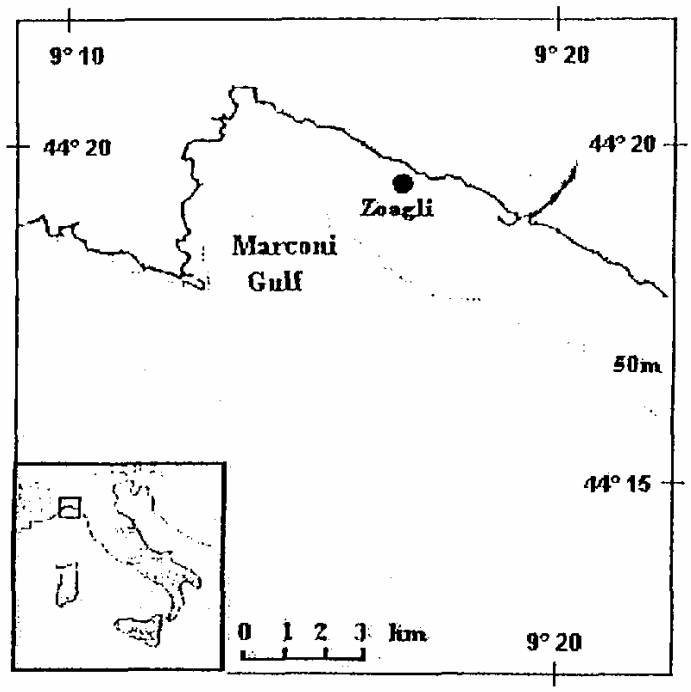


Fig. 1 - Area in esame e posizione della stazione

Dopo setacciamento su maglia da 0.5 mm, i campioni di macrofauna sono stati fissati con formaldeide al 10 % in acqua di mare. I policheti ed il bivalve sono stati separati dal sedimento, contati e classificati con l'utilizzo di un stereomicroscopio dopo colorazione con Rosa Bengala (0.5 g l^{-1}).

Gli istogrammi taglia-frequenza sono stati ottenuti misurando tutti gli individui di ciascun campionamento. Le classi sono state fissate con un intervallo di 0.2 mm per *Spio decoratus* (larghezza 10° setigero), di 0.5 mm per *Spisula subtruncata* (distanza antero-posteriore), di 0.47 mm per *Scolaricia typica* (larghezza 10° setigero), e di 0.4 mm per *Nephtys cirrosa,* (larghezza 10° setigero). Si è tentato di riconoscere le differenti classi con la risoluzione della distribuzione polimodale in componenti normali in accordo con il metodo di Batthacharya (1967), utilizzando il programma Elefan Pc. Poiché l'interpretazione degli istogrammi sui dati reali si è rivelata piuttosto difficile, le analisi con Elefan sono state condotte su dati mediati *(running average* su tre valori).

2. RISULTATI

La dinamica di popolazione è stata analizzata per la maggior parte delle specie. Tuttavia, a causa delle basse densità, le sole specie in cui l'analisi dettagliata ha fornito risultati leggibili sono *S. decoratus, S. typica, N. cirrosa* e *S. subtruncata.* Esse rappresentano circa il 35 % della comunità di policheti nella macrofauna ed il 21 % nella meiofauna, mentre *S. subtruncata* da sola rappresenta il 70 % della comunità di bivalvi.

Spio decoratus è la specie più abbondante tra i policheti a ciclo vitale breve (densità media su base annua in macrofauna: 34 individui m^{-2} + 43.5; densità media in meiofauna 2 ind. 10 cm^{-2} ± 2.9) ed è presente sia nella macrofauna che nella meiofauna soprattutto tra la primavera e l'estate (Fig 2 a). E' stata osservata una corrispondenza fra l'andamento della meio- e quello della macrofauna, con un ritardo di circa un mese fra i picchi dei due comparti ecologici. Il tasso di mortalità, in termini di differenza fra il picco di densità delle forme giovanili ed il successivo picco degli adulti è del 99 %. Dalle osservazioni condotte sulla meiofauna, si possono estrapolare almeno due eventi riproduttivi, tuttavia, la dinamica di popolazione della macrofauna mostra un andamento sostanzialmente unimodale (Fig. 3 a). Nella meiofauna, è stato osservato un picco tardivo di insediamento anche quando la specie scompare quasi completamente dalla macrofauna

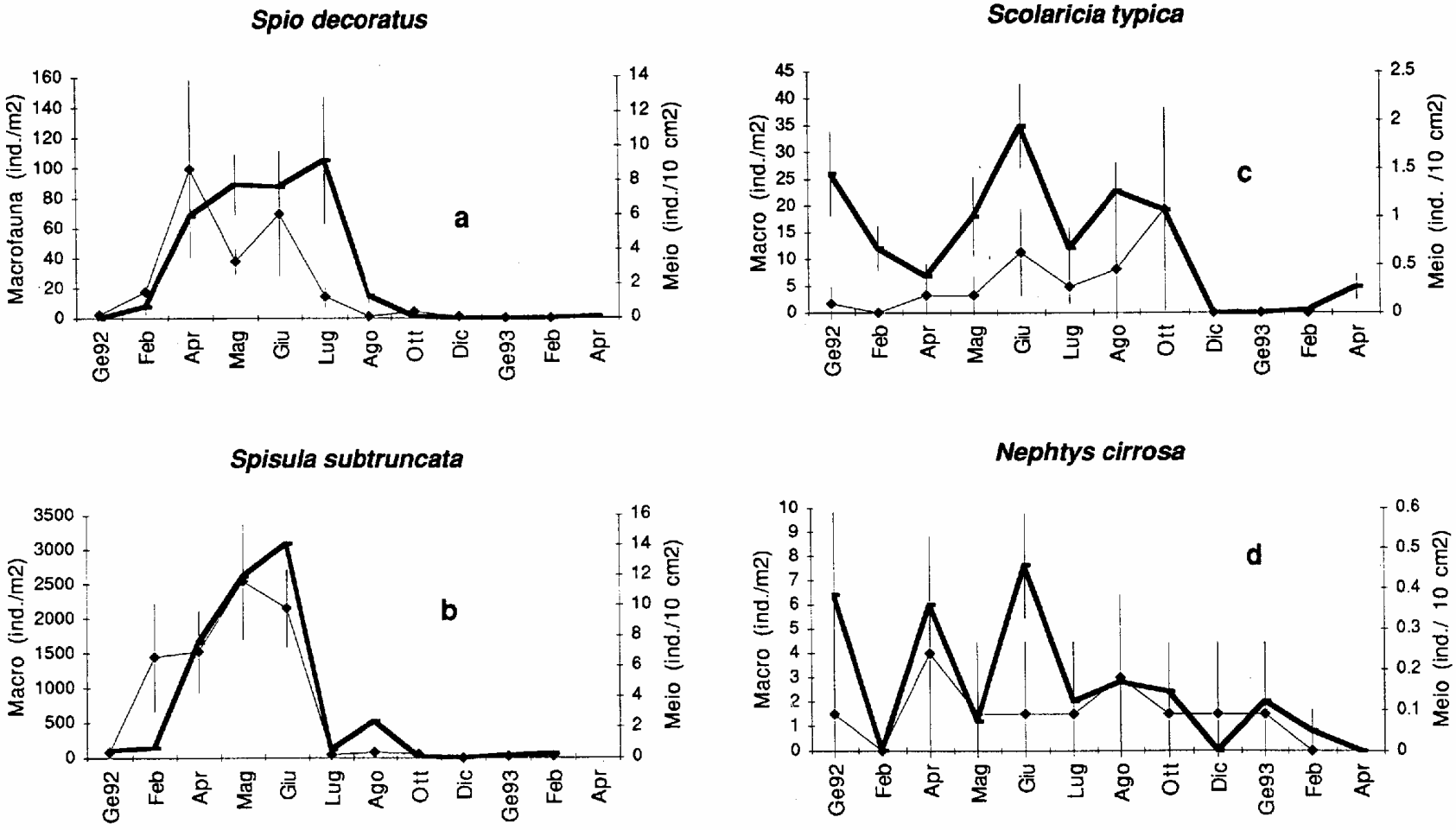


Fig. 2 - Variazioni stagionali di macrofauna (—) e di meiofauna (♦) in *S. decoratus* (a), *S. subtruncata* (b), *S. typica* (c), *N. cirrosa* (d).

(Ottobre 1992). Questi individui potrebbero dare origine ai pochi adulti presenti nella macrofauna ad Aprile 1993.

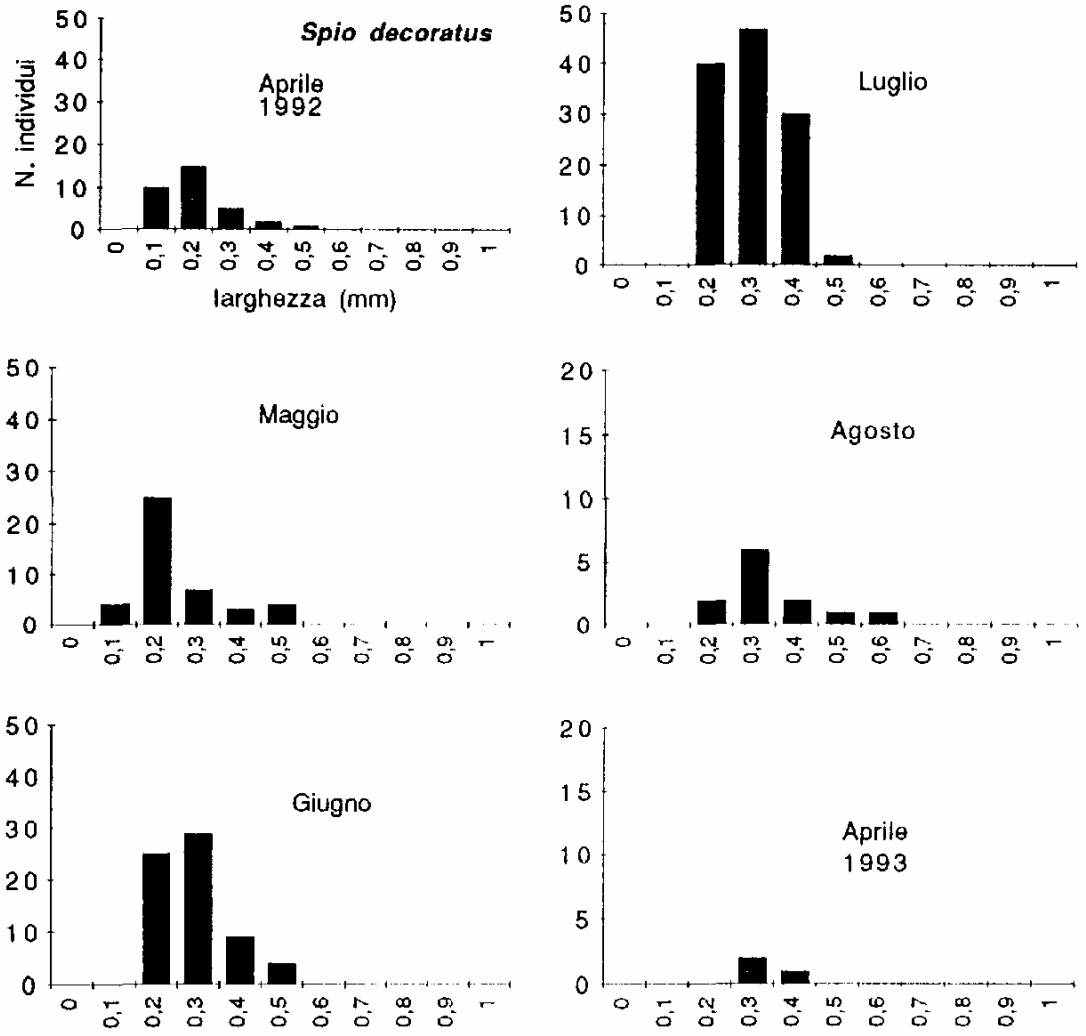


Fig. 3 a - Istogrammi taglia-frequenza di *S. decoratus*

Spisula subtruncata è la specie dominante la comunità di bivalvi, e presenta, in questa area, un ciclo vitale di un anno (densità media su base annua in macrofauna: 765 individui m^{-2} ± 1142; densità media nella meio: 3 ind. 10 cm^{-2} ± 4.5). Come *S. decoratus,* è massivamente presente in entrambi i comparti tra la primavera e l'estate per scomparire quasi completamente durante l'inverno (Fig. 2 b). Anche in questo caso, è stata osservata una corrispondenza fra l'andamento della meio- e quello della macrofauna, con un ritardo di circa un mese fra i picchi dei due comparti ecologici, ed un tasso di mortalità del 99 %. L'analisi degli istogrammi suggerisce un ciclo annuale con un lungo periodo di reclutamento che ha inizio a Febbraio e prosegue, apparentemente senza interruzioni, sino al mese di Ottobre (Fig. 3b). Le analisi condotte con il programma Elefan sui mesi di Giugno, Luglio ed Agosto hanno messo in evidenza la presenza di tre coorti sovrapposte.

Fra le specie caratterizzate da ciclo vitale superiore ad un anno, *S. typica* è sempre presente nei campioni di macrofauna (densità media su base annua in macrofauna: 13.8 individui m^{-2} ± 11.5; densità media nella meiofauna 0.25 ind. 10 cm^{-2} ± 0.33). I picchi di

abbondanza in macro e meiofauna sono contemporanei. In particolare, l'andamento della meiofauna potrebbe riflettere due maggiori eventi riproduttivi (Giugno e Ottobre), anche se le forme giovanili sono presenti per la maggior parte dell'anno (Fig. 2 e). Nella dinamica di popolazione condotto sulla macrofauna si osserva il reclutamento estivo (Maggio) mentre quello di Ottobre, più cospiquo, sembrerebbe essere sfuggito al campionamento. Durante l'episodio di reclutamento estivo si può notare una distribuzione bimodale, riconoscibile anche nei mesi successivi, e probabilmente la classe degli adulti rappresenta più coorti sovrapposte (Fig. 3 e), come già osservato per un'altro orbinide (Giangrande & Fraschetti, 1995). Tuttavia, la popolazione si presenta abbastanza rarefatta e gli istogrammi sono di difficile risoluzione anche con l'utilizzo di tecniche statistiche.

La situazione è molto simile in *N. cirrosa* anche se le abbondanze della popolazione adulta sono addirittura inferiori a quelle di *S. typica* (densità media su base annua in macrofauna: 3 individui m^{-2} ± 2.6; densità media nella meiofauna 0.09 ind. 10 c m^{-2} ± 0.06) (Fig. 2 d). A parte le analogie, la dinamica di popolazione si presenta molto più leggibile e con andamento più ciclico in questa seconda specie. Nonostante gli istogrammi di frequenza suggeriscano un andamento unimodale (Fig. 3 d), contrastante con la durata della vita di questa specie, l'esame degli anelli di accrescimento delle mandibole condotto su alcuni individui ha rivelato la presenza di più coorti (uno - due anni) all'interno della stessa classe di adulti. Nella dinamica di popolazione la presenza delle classi più piccole si evidenzia da Aprile ad Agosto; anche in questo caso i picchi di meiofauna e macrofauna sono coincidenti.

4. DISCUSSIONE

La comunità in toto dell'area in esame è caratterizzata da un andamento ciclico dovuto a mortalità di massa nel periodo invernale per cause estrinseche alle popolazioni (fattori abiotici) (Albertelli *et al.;* 1993; 1994 -a). Ciò si riflette in una presenza annuale delle specie a ciclo breve *(S. decoratus)* o in quelle specie che *adattano* il loro ciclo alle caratteristiche locali *(S. subtruncata)* e in una bassa densità in quelle a ciclo lungo come *S. typica* e *N. cirrosa.*

Il bivalve *S. subtruncata* rappresenta un buon esempio di specie con modelli differenti di ciclo vitale in base alle condizioni climatiche e trofiche, con una plasticità demografica che le consente longevità variabile fra uno e cinque anni (Albertelli *et al.,* 1994 -b; Fraschetti *et al.,* in stampa -a). Non esistono invece dati relativi al ciclo vitale di *N. cirrosa,* a differenza della grande mole di lavori esistente sulle congeneriche *N. hombergii* e *N. caeca* (Price & Warwick, 1980; Mathivat-Lallier & Cazaux, 1989) che raggiungono dimensioni maggiori e che comunque hanno una durata della vita superiore. Ciò è da imputare al fatto che *N. cirrosa,* contrariamente alle sue congeneriche, colonizza la fascia sabbiosa più superficiale andando incontro a grosse mortalità annuali.

Gli elevati tassi di mortalità osservati nel passaggio meio-macrofauna sembrano sottolineare come la mortalità post-insediamento sia importante nella regolazione della densità di queste specie di fondo mobile. Tuttavia, dai risultati ottenuti, il problema *stock-recruitment* (Feller *et al.,* 1992; Zobrist & Coull, 1992), cioè la mancanza di possibilità predittive fra abbondanze dei giovani e abbondanze degli adulti, tanto complesso nell'ecologia della pesca quanto nell'ecologia del benthos, supera la discussione relativa agli eventi pre- e post-insediamento nei fondi mobili, ma evidenzia l'importanza delle caratteristiche biologiche delle specie, come peraltro già sottolineato da Thorson (1950). Dal presente lavoro, infatti, emergono conclusioni diverse a seconda che si tratti di specie a vita breve, specie potenzialmente a vita lunga ma con adattamento alle condizioni locali e andamento stagionale, e specie caratterizzate da ciclo vitale superiore ad un anno. Infatti, le specie a ciclo breve o comunque stagionali si possono considerare *popolazioni aperte*

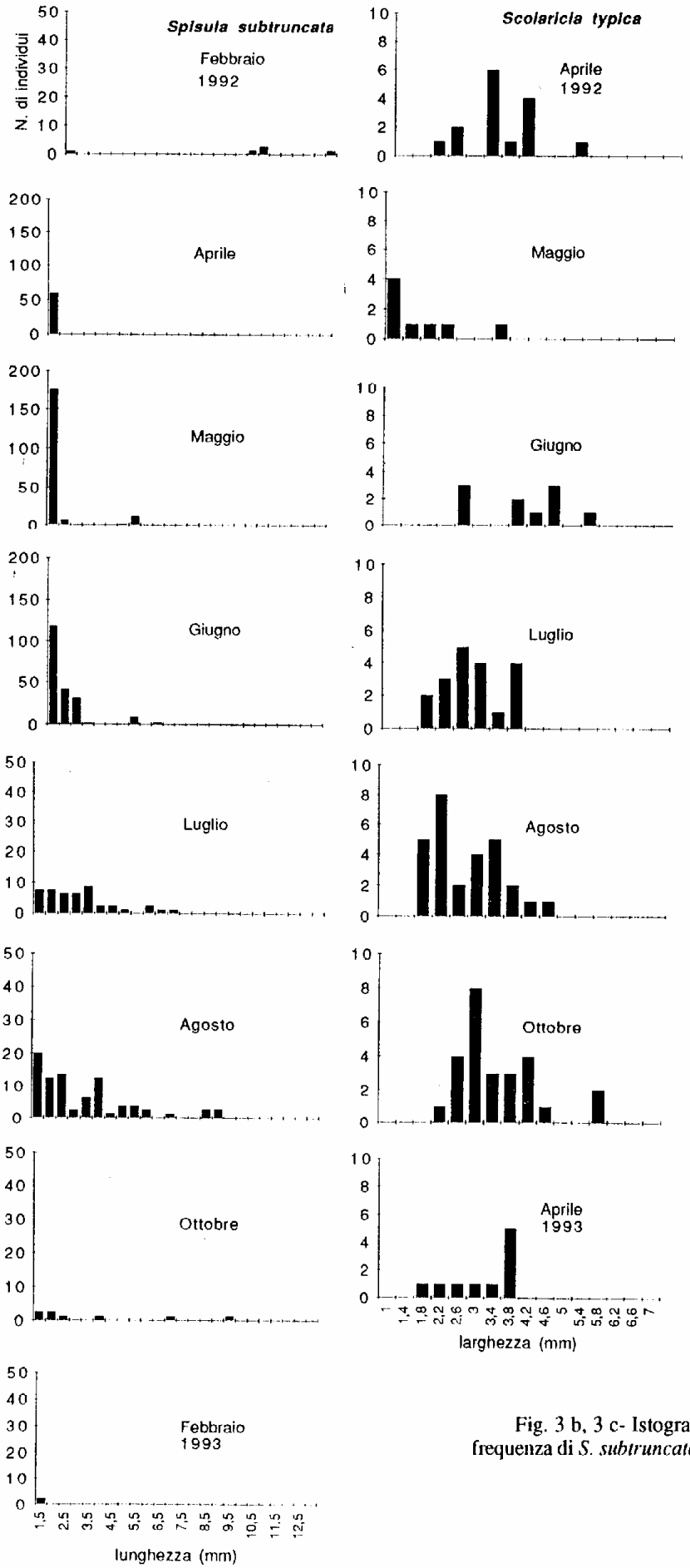


Fig. 3 b, 3 c- Istogrammi taglia-frequenza di *S. subtruncata* e *S. typica*

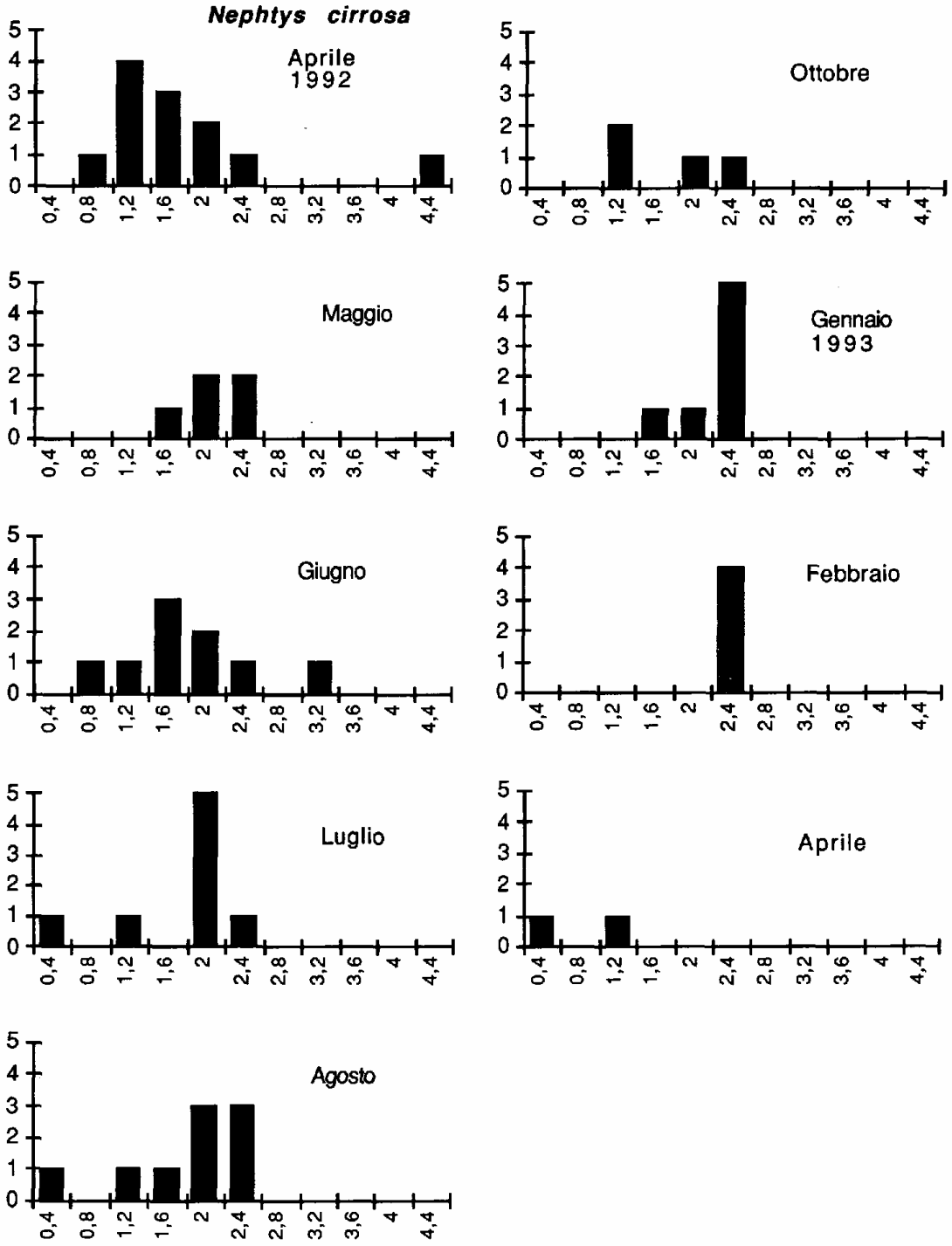


Fig. 3 d - Istogrammi taglia-frequenza di *N. cirrosa*

che, essendo caratterizzate da vita larvale lunga, dipendono probabilmente nella loro ricostituzione ciclica da popolazioni limitrofe. In questo caso, il picco di giovani nel comparto meiofauna precede di poco la comparsa della popolazione adulta: il comparto

macrofauna dipende in modo predominante dagli eventi precedenti l'insediamento, e la ricostituzione della popolazione adulta si avrà solamente se questo avviene con successo. In queste condizioni, le specie a ciclo vitale breve sembrano essere maggiormente prevedibili nella loro dinamica annuale.

Nelle specie a ciclo vitale superiore ad un anno, caratterizzate da lento accrescimento, la popolazione è presente tutto l'anno ed il reclutamento segue le abbondanze della popolazione adulta piuttosto che precederle. Queste specie, infatti, dipendono maggiormente dall'assemblamento locale avendo larve a vita breve ed il successo del reclutamento può riflettersi maggiormente nella successiva generazione della popolazione. In questo caso, le possibilità di prevedere l'andamento è inferiore, a meno di allungare il periodo di studio (Menge & Sutherland, 1987).

Le nostre conclusioni sono in accordo con quanto osservato da Kunitzer (1992) per una comunità di fondo mobile del mare del Nord, in cui si evidenzia una correlazione fra la densità della macrofauna e quella dei giovani solo in caso di rapido accrescimento.

In conclusione, mentre il coupling fra meiofauna e macrofauna è assai evidente nelle specie a ciclo breve, nelle specie a ciclo lungo vi è una sovrapposizione di generazioni ed il coupling è meno chiaro. In questo caso, si può ipotizzare che le conseguenze ,nella popolazione adulta si potranno avvertire negli anni successivi ed il risultato finale quindi è probabilmente più complesso di una semplice funzione della disponibilità larvale, come supposto dalla *supply side ecology* (Gaines & Roughgarden, 1985).

RINGRAZIAMENTI

Il supporto finanziario è stato fornito dai programmi 40 % M.U.R.S.T. "Ecosistemi marini e delle acque interne" (Prof. N. Della Croce) ed " Ecologia del sistema marino costiero: biocenosi delle sabbie fini ben calibrate" (Prof. G. Albertelli).

BIBLIOGRAFIA

Albertelli G., Bonomi A., Covazzi A., Della Croce N. e Fraschetti S. 1993. Macrobentos y parametros ambientales en fondos arenosos del Mar de Liguria, Italia. *Atti VII Symposium Iberico de Estudio del Benthos Marino,* 1-4 Ottobre, Murcia, Spagna: 305-312.

Albertelli G., Chiantore M.C. e Fraschetti S. 1994 - a. A one year study of a sandy bottom community: seasonal fluctuations compared to a previous sampling period. *Atti X Congr. Ass. Ital. Oceanol. Limnol.,* Alassio, 3-6 Novembre 1992: 529-542.

Albertelli G., A. Covazzi e S. Fraschetti, 1994 - b. Population dynamics, biomass and production of the bivale *Spisula subtruncata* (da Costa) in the Ligurian Sea. *Atti X Congr. Ass. Ital. Oceanol. Limnol.,* Alassio, 3-6 Novembre 1992: 189-200.

Bachelet G., Guillou J. e Labourg P.-J. 1992. Adult-larval and juvenile interactions in the suspension-feeding bivalve, *Cerastoderma edule* (L.): field observations and experiments. In: *Marine Eutrophication and population dynamics,* (Colombo G., Ferrari L, Ceccherelli V.U., Rossi R. eds.), Olsen & Olsen, Fredensborg, Atti XXV E.M.B.S., 10-15 Settembre 1990, Ferrara: 175-182.

Batthacharya C.G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrics, 23: 115-135

Booth, D.J. e Brosnam D. M. 1995. The role of recruitment dynamics in rocky shore and coral reef fish communities. *Adv. in Ecol. Res.,* 26: 309-383.

Bonsdroff E., Norkko A. e Bostrom C. 1995. Recruitment and population maintenance of the bivalve *Macoma balthica* (L.) - factors affecting settling success and early survival on shallow sandy bottoms. *Atti XXVIII E.M.B.S.,* 23-28 Settembre 1993, Hersonissos, Creta, Grecia, Settembre 1993.

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

Cody M.L. 1968. On the methods of resource division in grassland bird communities. *Am. Nat.,* 102: 107-147.

Cushing P. 1975. *Marine Ecology and Fisheries.* Cambridge University Press, Cambridge: 278 pp.

Danovaro R., Fraschetti S., Belgrano B., Vinx M., Curini Galletti M., Albertelli G. e Fabiano M. 1995. The potential impact of meiofauna on the recruitment of macrobenthos in a subtidal coastal benthic community of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean): a field result. *Atti XXVIII E.M.B.S.,* 23-28 Settembre 1993, Hersonissos, Creta: 115-122

Diamond J. 1978. Niche shifts and the rediscovery of interspecific competition. *Am. Sci., 66:* 322-331.

Feller R.J., Stancyk S.E., Coull B.C. e Edwards D.G. 1992. Recruitment of polychaetes and bivalves: long term assessment of predictability in a soft-bottom habitat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 87: 227-238.

Fogarty M.J., Sissenwine M.P. e Cohen E.B. 1991. Recruitment variability and dynamics of exploited marine populations. *TREE, 6* (8): 241-246.

Fraschetti S. 1994. *Ruolo del reclutamento e della disponibilità alimentare nelle fluttuazione del macrobenthos.* Tesi di Dottorato in Scienze Ambientali (Scienza del Mare), Università di Genova: 106 pp.

Fraschetti S. 1996. Pre- vs post-settlement events in the soft sediment systems: preliminary observations of a polychaete community. *Atti XI Congr. Ass. Ital. Oceanol. Limnol,* Sorrento, 26-28 Ottobre 1994: 713-722

Fraschetti S., Chiantore M.C., Covazzi A. e Albertelli G., in stampa -a. Life history traits of the bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) in the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean): the contribution of the temporary meiofauna. *Scientia Marina.*

Fraschetti S., Giangrande A. e Albertelli G. in stampa -b. Possible controlling factors of a subtidal coastal polychaete community: a case study. *Atti XXX EMBS, Southampton,* 18-22 Settembre.

Gaines S.& Roughgarden J. 1985. Larval settlement rate: a leading determinant of structure in an ecological community of the marine intertidal zone. *Atti National Academy of Sciences of the USA,* 82: 3707-11.

Giangrande A. & Fraschetti S. 1996. Effects of a short-term environmental change on a brackish-water polychaete community. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol.,* 17 (1): 321-332.

Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. *Rapp. P.-V. Reun., Conx. Int. Explor. Mer.,* 20: 1-13.

Kunitzer A. 1992. Does settlement influence population dynamics of macrobenthos? A case study in the central North Sea. In: *Marine Eutrophication and population dynamics,* (Colombo G., Ferrari I., Ceccherelli V.U., Rossi R. eds.), Olsen & Olsen, Fredensborg, Atti XXV EMBS, 10-15 Settembre 1990, Ferrara: 285-291.

Mathivat-Lallier M.H. & Cazaux C. 1989. Dynamique et reproduction de *Nephtys hombergii* (Annélide Polychète) dans le bassin d'Arcachon. *Cah. Biol. Mar.,* 30: 473-486.

Menge B.A. & Sutherland J.P. 1987. Community regulation: variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. *Am. Nat.,* 130: 730-757.

Olafsson E.B., Peterson C.P. e Amorose W.G.Jr. 1994. Does recruitment limitation structure populations and communities of macro-invertebrates in marine soft sediments: the relative significance of pre- and post-settlement processes. *Oceanogr. and Mar. Biol: an Annual Review,* 32: 65-109.

Osman R.W., Whitlatch R.B. e Zajac R.N. 1989. Effects of-resident species on recruitment into a community: larval settlement versus post-settlement mortality in the oyster *Crassostrea virginica. Mar. Ecol. Prog. Series:* 54: 61-73.

Price R. & Warwick R.M. 1980. Temporal variations in annual production and biomass in estuarine population of two polychaetes, *Nephtys hombergii* and *Ampharete acutifrons. J. Mar. Biol. Ass. U.K.,* 60: 481-487.

Thorson G. 1950. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol. Rev.,* 25: 1-45.

Tunberg B. 1983. A simple, diver-operated suction sampler for quantitative sampling in shallow sandy-bottoms. *Ophelia,* 22: 185-188.

Underwood A.J. & Fairweather P.J. 1989. Supply-side ecology and benthic marine assemblage. *TREE,* 4 (1): 16-21.

Zobrist E.C. & Coull B.C. 1992. Meiobenthic interactions with macrobenthic larvae and juveniles: an experimental assessment of the meiofaunal bottleneck. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 88: 1-8.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 361 - 370

RADIONUCLIDI NATURALI E ARTIFICIALI IN SEDIMENTI COSTIERI E D'ALTURA PRELEVATI NELL'AREA MARINA CIRCOSTANTE LE ISOLE EOLIE

Fabio FIORI[1], Francesco NONNIS MARZANO[1], Cesare TRIULZI[1], Marina VAGHI[1], Davide CAPRA[2], Antonio ZOBOLI[2]

[1] Dipartimento di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università di Parma
[2] CISE Spa, Segrate (Milano)

RIASSUNTO

Nel presente lavoro vengono riportati i risultati ottenuti da analisi di radioattività ambientale svolte su campioni di sedimenti costieri e d' altura prelevati nell' area marina limitrofa le Isole Eolie, nel corso della campagna oceanografica EOCUMM95. Lo studio è orientato innanzi tutto verso la valutazione della distribuzione areale di radioisotopi delle famiglie naturali Th-232, U-238 e del K-40 al fine di evidenziare eventuali fenomeni anomali in relazione all' intensa attività vulcanica . Si è inoltre indagata la presenza dei radionuclidi artificiali Cs-137, Pu-238 e Pu-239 (240), derivati principalmente dagli esperimenti atomici degli anni 60 e dall' incidente di Chernobyl (1986). L'indagine è stata completata mediante misure di spettrometria gamma a bassa energia per l'individuazione di Pb-210 e Th-234. Al fine di contribuire ulteriormente alla caratterizzazione del comparto sedimentario superficiale sono stati determinati i quantitativi di sostanza organica presenti nei singoli campioni ed è stata eseguita la caratterizzazione mineralogica mediante fluorescenza a raggi X su taluni campioni di sedimento. I risultati ottenuti evidenziano una limitata variabilità per quanto riguarda i radionuclidi artificiali, con valori in linea con altri areali mediterranei comparabili. Interessanti sono invece i risultati ottenuti per i radionuclidi primordiali che evidenziano una radioattività naturale più elevata, in relazione all' origine vulcanica delle Isole Eolie, con un valore particolarmente elevato in una stazione posta a est dell' isola di Vulcano a una profondità di circa 1000 m.

ABSTRACT

In the framework of the EOCUMM95 oceanographic cruise, environmental radioactivity analyses on coastal and off-shore sediments collected in the marine area surrounding the Eolian Islands, have been carried out. Concentrations of primordial radionuclides of the Th-232 and U-238 families have been obtained and used together with K-40 to evaluate natural radioactivity fluctuations in connection with the intense volcanic activity of the area. Anthropogenic Cs-137, Pu-238 and Pu-239 (240) coming from the Chernobyl accident and nuclear testing of the sixties have also been determined. Furthermore, the investigations have been completed with low energy - gamma spectrometry for the detection of Pb-210 and Th-234. With the aim of a better characterization of the surface sediment layer, organic matter contents have also been determined together with the evaluation of the mineralogic composition of the samples by means of x-rays fluorescence. The results have demonstrated a scarce variability of the

artificial radionuclides with concentrations in good agreement with other Mediterranean areas. On the other hand, the primordial radioactivity data have been very interesting. In fact, higher concentrations were detected because of the volcanic origin of the Archipelago and major values were measured in one station eastern to the Vulcano Island at a depth of 1000 meters.

1. INTRODUZIONE

Nel corso della campagna EOCUMM95 sono stati prelevati vari campioni di sedimento in zone costiere e d'altura al fine di determinare il contenuto di radionuclidi primordiali e antropogenici (Fig. 1).

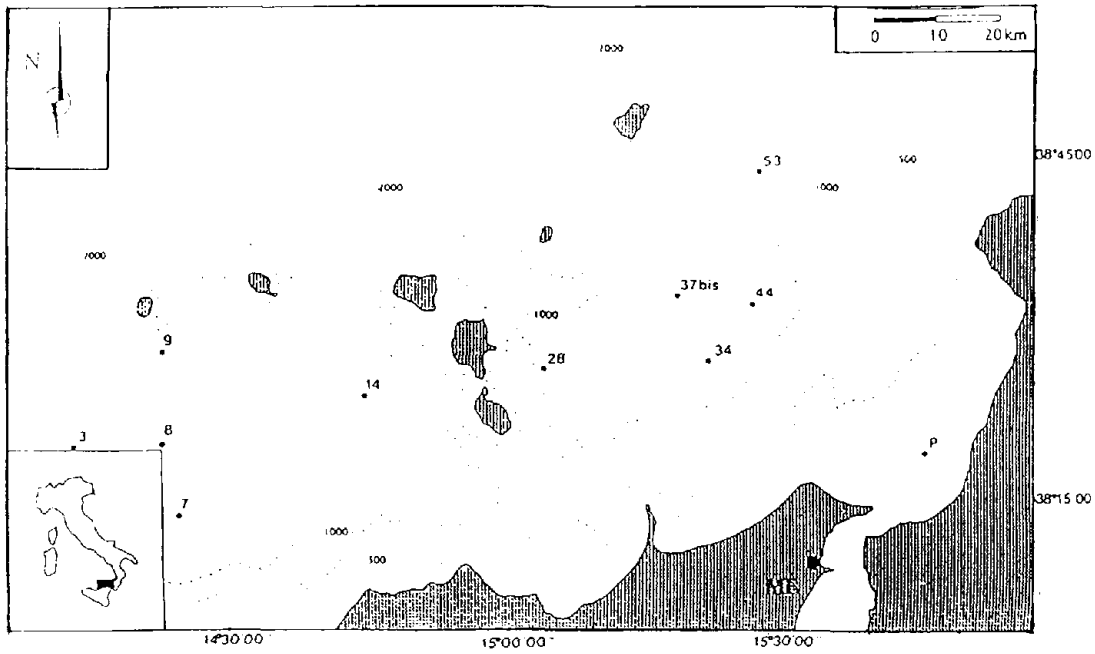


Fig. 1 - EOCUMM95, ubicazione delle stazioni di prelievo.
Le coordinate geografiche della stazione Q non sono disponibili.

I risultati vengono presentati in questo lavoro che rappresenta la prosecuzione della ricerca radioecologica avviata nel 1994, i cui risultati sono già stati resi noti nel Data Report "Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia (EOCUMM94)" (Triulzi *et al.,* 1995).
L'interesse per l'Arcipelago Eoliano è da riferire principalmente all'eterogeneità del comparto sedimentario, al caratteristico idrodinamismo e alla diffusa attività vulcanica dell'area.
La zona marina indagata è infatti caratterizzata da una piattaforma continentale molto stretta, talvolta assente, e da scarpate più o meno complesse (Brambati *et al.,* 1995). Si divide in due bacini: a Est quello di Gioia, solcato dal canyon di Stomboli, e a Ovest quello di Cefalù (entrambi con profondità di circa 1500 m) separati dal promontorio di Milazzo e dall'arco eoliano . Questo è di origine vulcanica ed è costituito da sette isole e tre promontori sottomarini (Brai *et al,* 1993). I sedimenti presenti nei due bacini sono,

per la maggior parte, di origine vulcanica e per la restante di origine alluvionale e biologica, provenienti dalle coste siciliane e calabresi (Amore *et al,* 1995).

Per quanto riguarda l'aspetto radioecologico l'interesse maggiore è rivolto alla presenza di radioattività primordiale. Le aree vulcaniche presentano infatti un elevato fondo naturale dovuto alla abbondanza di K-40, Th-232 e U-238 e ai loro figli (Chesselet & Lalou, 1988) (Fig. 2).

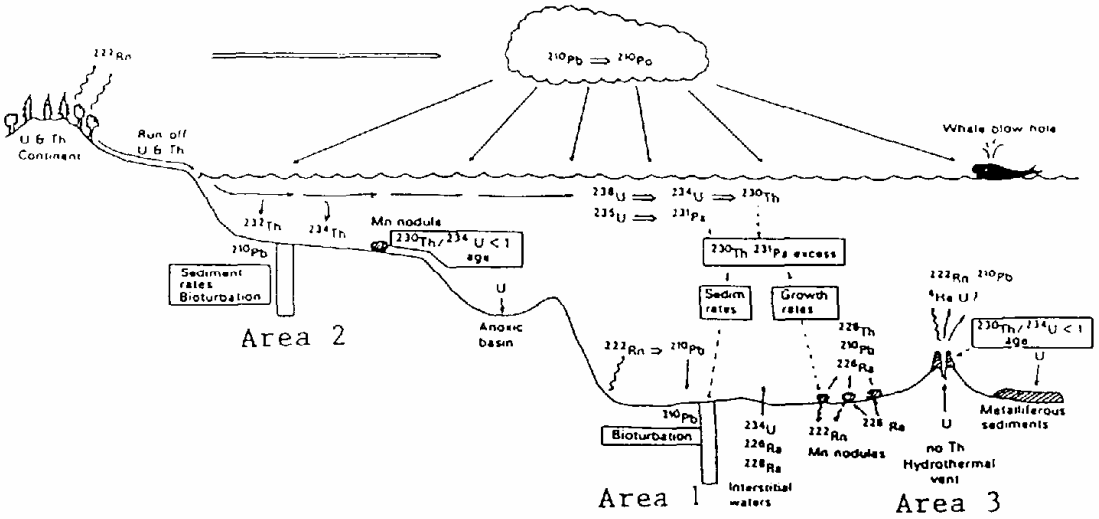


Fig. 2 - I radionuclidi primordiali negli ambienti marini (da Chesselet & Lalou, 1988)

Oltre ai sopracitati radioisotopi naturali la nostra indagine ha riguardato gli artificiali Cs-137, che ha un tempo di dimezzamento di 30,5 anni, Pu-239 (240) *(*t1/2 24110 anni) e Pu-238 (t1/2 87,7 anni); questi ultimi considerati, in relazione ai loro tempi di dimezzamento, radionuclidi a elevata persistenza ambientale.

2. MATERIALI E METODI

I campioni di sedimento sono stati prelevati con benna, nel corso della campagna EOCUMM95 svoltasi nel Luglio 1995. Presso il laboratorio di radioecologia dell'Università di Parma una parte di questi, circa 500 g peso umido, sono poi stati essiccati in stufa a 80° C fino a peso costante e posti in appositi contenitori adatti alla successiva analisi per spettrometria gamma. Questa è stata eseguita con rivelatori al Ge, l'elaborazione degli spettri ottenuti è stata eseguita con software Maestro della EG & G. I radionuclidi gamma emettitori indagati sono stati l'artificiale Cs-137 e i naturali K-40, Bi-212/Pb-212, Bi-214/Pb-214 figli rispettivamente di Th-232 e Ra-226. Nel seguito le attività di Ra-226 verranno riportate come attività di U-238, capostipite della famiglia. Sugli stessi campioni, presso i laboratori del CISE Milano, è stata svolta analisi per spettrometria gamma a bassa energia utilizzando rivelatori al Ge con finestra di Be. Ciò ha permesso di valutare oltre alle concentrazioni di Cs-137, K-40, Th-232 e U-238 anche le concentrazioni dei radioisotopi naturali Pb-210 e Th-234, gamma emettitori a bassa energia (rispettivamente 46,5 keV e 92,6 keV), entrambi appartenenti alla serie naturale 4n+2. Il confronto dei risultati ottenuti dal CISE e dal laboratorio radioecologico

dell'Università di Parma ha permesso di verificare l'intercalibrazione dei rivelatori utilizzati.

Sempre a Parma sono state svolte le analisi per il Pu-239 (240) e Pu-238. Per la ricerca di questi due isotopi artificiali alfa emettitori è necessaria una complessa separazione radiochimica e sulla piastra elettrodepositata un successivo conteggio per circa 200000 secondi. La metodica utilizzata è descritta in precedenti lavori (Unichim, 1991).

Sui campioni è stata poi svolta, dalla Divisione Ambiente del CISE, un'analisi chimica quantitativa elementare per i seguenti elementi: Fe, Ti, Ca, K, Si, Al, Mg.

Si è utilizzata la spettrometria a raggi X di fluorescenza a dispersione di lunghezza d'onda (spettrometro Philips PW1400). La preparazione dei campioni è stata eseguita mediante la seguente procedura:

- calcolo dell'umidità del sedimento mediante trattamento termico di 2 h a 105° C;
- calcolo della perdita per calcinazione mediante trattamento termico per 16 h a 750° C;
- preparazione dei dischi fusi mediante fusione alcalina con Litio tetraborato a 1250° C.

Questo metodo è consigliato per l'analisi di macrocostituenti quando si vogliono minimizzare gli effetti granulometrici, morfologici o di legame dovuti alla matrice. I risultati sono stati ottenuti mediante confronto con una "banca standard" di vetrini di ossidi e sedimenti con intervallo di concentrazione adeguato ai campioni in esame. Gli errori relativi controllati con standard di riferimento sono del 10% per il Mg e del 4% per gli altri elementi.

Su tutti i sedimenti è stata determinata la sostanza organica per perdita in peso, ottenuta per differenza tra il peso secco (80° C sino a peso costante) e il peso delle ceneri (500°C per 24 ore).

3. RISULTATI

La contaminazione da Cs-137 a livello del sedimento è mediamente bassa, con attività che vanno da 0,3 a 6,1 Bq/Kg s (Tab. 1), più elevate nei campioni d'altura rispetto

Tab. 1 - EOCUMM95 Concentrazioni di Cs-137 e Pb-210, Th-234 in sedimenti superficiali costieri e d'altura. N.D. Non disponibili

CAMPIONE	Cs-137 Bq/Kg s	Pb-210 Bq/kg s	Th-234 Bq/Kg s
Sedimenti costieri			
Alicudi	0,4±0,1	38,5±3,2	15,2±2,4
Panarea	0,4±0,1	95,9±7,2	19,9±3,3
Lipari	0,3±0,1	107,7±5,7	15,0±1,3
Sedimenti di altura			
Q*	2,1±0,3	98,1±7,0	49,9±5,1
P	2,3±0,2	262,0±18,0	37,0±4,6
44	<0,7	48,8±6,0	46,2±5,8
28	6,1±0,4	269,0±15,0	111,1±7,2
34	5,5±0,3	159,3±9,1	41,7±3,7
37bis	4,7±0,3	356,0±24,0	48,9±6,6
3	5,4±0,4	356,0±24,0	24,6±5,3
7	4,5±0,3	165,3±8,6	59,9±3,6
14	1,9±0,2	191,0±14,0	46,5±5,2
9	2,7±0,5	104,5±6,6	45,1±4,2
8	2,3±0,2	N.D.	N.D.
53	4,9±0,3	208,0±11,0	57,5±4,1

a quelli costieri (Fig. 3), soprattutto in relazione alla differente granulometria dei sedimenti. E' noto come esista una correlazione inversa tra la dimensione delle particelle e l'affinità delle stesse per il radiocesio, che si trova adeso superficialmente. Inoltre la componente argilloso-carbonatica tende a legare il cesio più fortemente di quanto non avvenga in sedimenti sabbiosi (Pentreath, 1980).

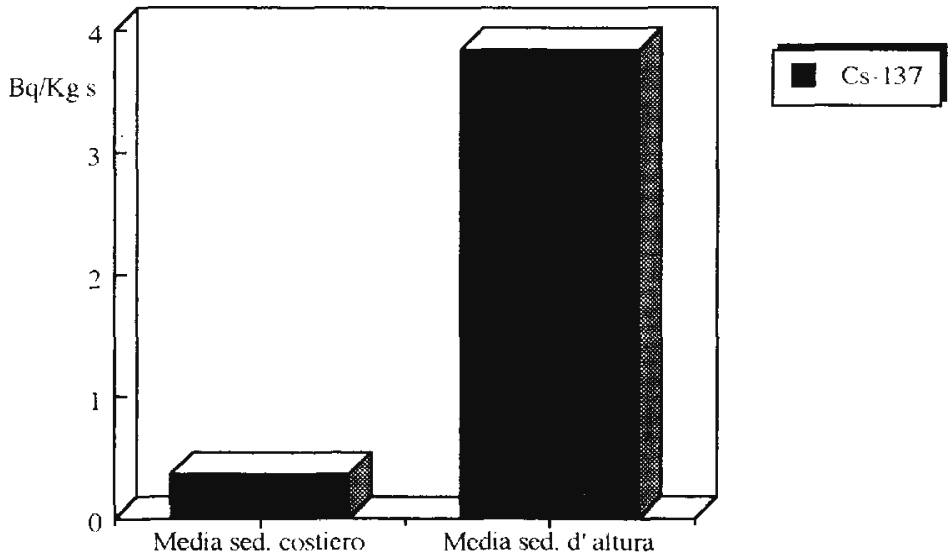


Fig. 3 - Confronto tra i valori medi di Cs-137 in sedimenti costieri e d'altura

Per quanto riguarda il Pu-239 (240) e Pu-238, radionuclidi antropogenici a lunga persistenza ambientale, i risultati mostrano un'attività inferiore ai limiti di rivelazione nel sedimento costiero e in quello d'altura una bassissima attività per il Pu-239 (240) 0,11 Bq/Kg s, mentre il Pu-238 risulta essere sotto i limiti di rivelazione anche in questo campione (Tab. 2).

Tab. 2 - EOCUMM95 Concentrazioni di Pu-239 (240) e Pu-238 in campioni di sedimento costiero e d'altura.

CAMPIONE	prof. m	Pu-239(240) Bq/Kg s	Pu-238 Bq/Kg s	Resa Separaz.
Sedimento costiero				
Alicudi	6	<0,700	<0,113	56%
Sedimento di altura				
7	1365	0,110±0,010	<0,101	10%

Risultati più interessanti e complessi sono stati quelli ottenuti per la radioattivtà primordiale, espressi sia in attività che in massa (Tab. 3). Nei campioni costieri abbiamo una significativa differenza nell'attività tra le diverse isole, decrescente rispettivamente da Alicudi, a Lipari, a Panarea (Fig. 4). I valori medi delle sabbie costiere sono più bassi rispetto alla media dei sedimenti d'altura (Fig. 5).

Tab. 3 - EOCUMM95 Concentrazioni di Th-232, U-238 e K-40 in sedimenti superficiali costieri e d'altura.

CAMPIONE	Th-232 Bq/Kg s	Th ppm	U-238 Bq/Kg s	U ppm	K-40 Bq/Kg s	K %
Sedimenti costieri						
Alicudi	21,3±0,9	5.26	18,5±0,3	1.49	397,6±12,8	1.29
Panarca	8,3±0,5	2.06	7,2±0,2	0.58	96,1±4,8	0.31
Lipari	3,9±0,3	0.96	1,7±0,3	0.14	83,9±4,5	0.27
Sedimenti di altura						
Q*	64,4±2,4	15.91	29,3±0,4	2.36	899,8±27,8	2.93
P	45,4±2,0	11.21	18,5±0,4	1.49	877,8±31,9	2.86
44	74,4±4,2	18.37	35,6±0,4	2.86	813,3±32,6	2.65
28	138,0±4,9	34.09	69,4±0,6	5.59	1143,1±33,9	3.72
34	53,0±1,9	13.09	22,7±0,4	1.83	781,8±12,0	2.55
37bis	63,9±2,8	15.78	31,1±0,3	2.51	946,8±33,1	3.08
3	40,5±1,8	10.01	15,2±0,6	1.23	543,8±21,9	1.77
7	55,7±2,1	13.76	19,5±0,8	1.57	657,9±22,6	2.14
14	56,2±2,4	13.88	33,5±0,4	2.71	855,1±30,9	2.78
9	58,4±2,1	14.43	29,9±0,5	2.42	845,4±26,3	2.75
8	44,7±1,2	11.04	25,6±0,3	2.06	694,7±15,7	2.26
53	59,6±2,1	14.72	28,1±0,2	2.27	778,5±24,7	2.53

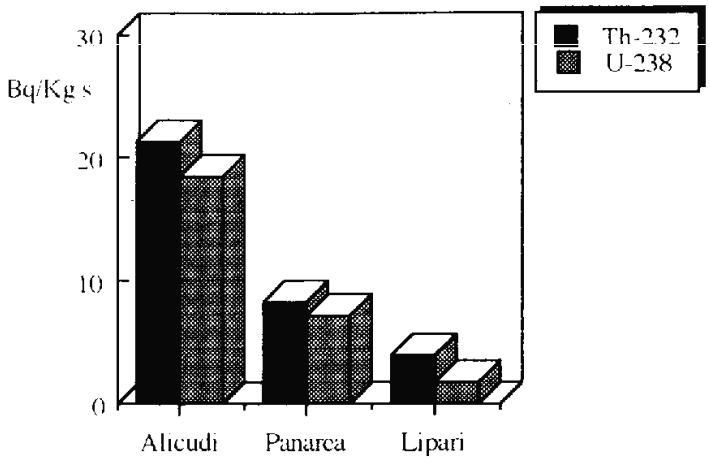


Fig. 4 - Concentrazione di Th-232 e U-238 in sedimenti costieri.

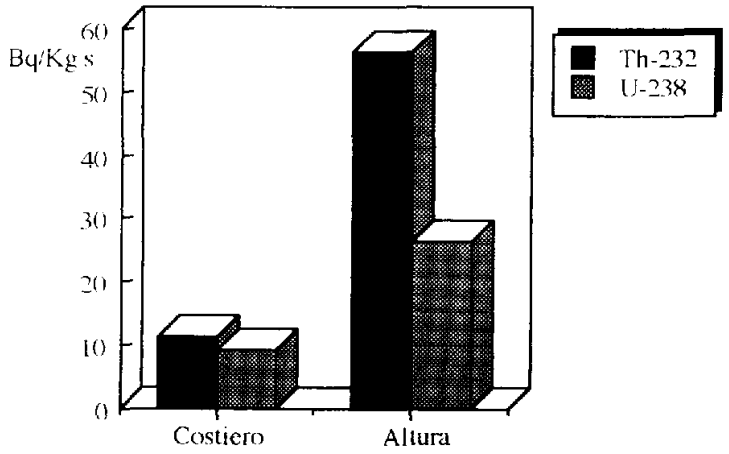


Fig. 5 - Confronto tra i valori medi di Th-232 e U-238 in sedimenti costieri e d'altura.

E' interessante sottolineare che a est dell'isola di Vulcano il sedimento prelevato nella stazione 28PIC21 a circa 1000 m di profondità presenta un'attività naturale notevolmente superiore rispetto alla media degli altri campioni d'altura (Fig. 6).

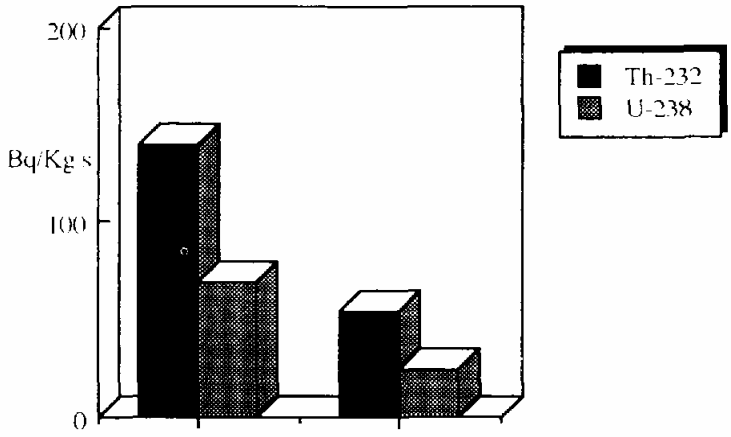


Fig. 6 - Confronto tra le concentrazioni di radionuclidi primordiali nella stazione 28 e la media dei sedimenti d'altura.

Nella tabella 4 per i singoli sedimenti analizzati è riportata la natura (argilla, sabbia, argilla-sabbia), la profondità di prelievo, la sostanza organica e i costituenti chimici espressi in percentuale.

Tab. 4 - EOCUMM95 Dati relativi all'analisi chimica su campioni di sedimenti superficiali d'altura.
S: Sabbia A: Argilla AS: Argilla e Sabbia N.D. Non Disponibile

CAMPIONE		prof. m	SO %	Fe %	Ti %	Ca %	K %	Si %	Al %	Mg %
Sedimenti costieri										
Alicudi	S	6	2.67	5.68	0.36	7.62	1.25	19.55	6.35	3.76
Panarea	S	26	19.2	0.42	0.01	33.44	0.18	4.6	1.34	0.77
Lipari	S	35	13.93	0.73	0.07	32.05	0.18	4.64	1.85	1.1
Sedimenti di altura										
Q	A	218	11	4.53	0.44	4.88	2.42	21.55	8.38	1.31
P	AS	377	4.4	3	0.32	2.33	2.5	26.71	7.34	0.94
44	A	1040	16	4.08	0.37	5.5	2.56	18.67	7.28	1
28	A	1052	8	3.61	0.29	3.73	3.12	20.34	6.96	0.86
34	A	1083	20.6	4.24	0.45	3.98	2.49	19.52	8.19	1.37
37bis	A	1200	14.4	4.38	0.48	3.61	2.69	21.29	8.76	1.49
3	A	1226	26.1	3.16	0.34	8.62	1.27	14.81	6.08	1.11
7	A	1365	19.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
14	AS	1412	12.2	3.82	0.41	2.98	2.54	24.75	7.82	1.41
9	A	1514	13.2	3.86	0.43	2.57	2.34	20.46	7.28	1.28
8	A	1515	17.8	4.29	0.41	5.96	1.84	19.9	8.01	1.05
53	A	1547	16.8	3.8	0.38	5.83	2.08	17.52	7.23	1.45

4.CONCLUSIONI

Nelle componenti indagate, Cs-137 Pu-238 e Pu-239 (240), la radioattività antropogenica risulta bassa e i valori sono in linea con quelli ottenuti nella campagna EOCUMM94 (Triulzi *et al.,* 1995). Le attività trovate sono simili a quelle riportate da altri autori per il bacino profondo del Mediterraneo occidentale a conferma che la contaminazione da isotopi antropogenici nei sedimenti delle zone batiali presenta una ridotta variabilità, perché inferiore è l'influenza diretta degli apporti terrigeni contaminati (Papucciefa *et al.*, 1996).

Per quanto riguarda invece i radionuclidi primordiali l'attività riscontrata nei sedimenti d'altura risulta superiore ad altre aree del Mediterraneo (Triulzi *et al.,* 1996), risultato giustificabile dalla caratterizzazione geologica, che vede nei sedimenti fini prevalere i clasti di origine vulcanica (Amore *et al,* 1995).

Significativa è la correlazione tra Th-232 e U-238 come evidenziato in figura 7, analogamente a quanto osservato da altri autori (Brai *et al.,* 1993). L'elevata concentrazione degli isotopi primordiali (con un rapporto di circa 3:1 rispetto alla media dei valori d'altura) nella stazione ad est dell'isola di Vulcano conferma l'attività anomala di un campione prelevato in un sito limitrofo nella campagna precedente. Queste alte concentrazioni sono probabilmente da mettere in relazione a fenomeni di vulcanesimo secondario. Infatti in tale area sono state registrate eruzioni sottomarine all'inizio del secolo (Italiano, comunicazione personale) e attualmente numerose sono le emissioni di fluidi idrotermali (Francofonte *et al,* in stampa).

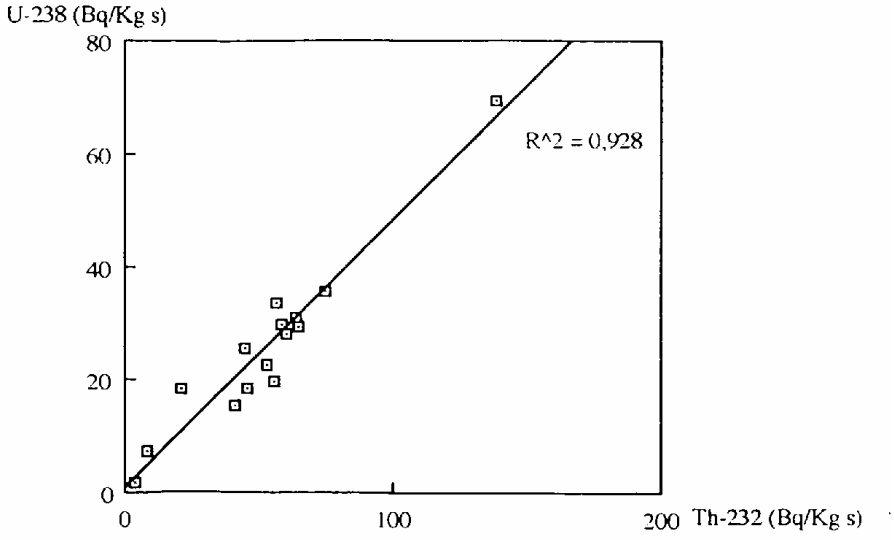


Fig. 7 - Correlazione Th-232/U-238.

Il Pb-210 risulta in eccesso rispetto all'U-238. Tale eccedenza nei sedimenti d'altura non dipende tanto dal Pb-210 atmosferico, ma dal decadimento di Ra-226 nell'acqua profonda o dal Ra-226 e Rn-222 che migrano nel sedimento attraverso l'acqua interstiziale. Negli ambienti costieri invece l'eccesso di Pb-210 è per lo più determinato dall'attività biologica. Anche per il Th-234 si osserva un disequilibrio rispetto al padre U-238, da cui si genera per decadimento alfa. L'eccesso riscontrato è dovuto al Th-234 prodotto dall'U-238 disciolto in acqua. Infatti gli isotopi del torio si adsorbono rapidamente al materiale particolato e vengono trasportati al fondo (Lalou C., 1982).

Ulteriori approfondimenti d'indagine richiederebbero prelievi di carote.

BIBLIOGRAFIA

Amore C., Geremia F. & Randazzo G. 1995. Primi dati sulle caratteristiche tessiturali e composizionali dei sedimenti del sistema Eolie e bacini limitrofi di Cefalù e Gioia. In: Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia. Data Report EOCUMM 94 (Faranda F.M. ed.), Napoli: 317-330.

Brai M., Hauser S., Parelio F., Puccio P. & Rizzo S. 1993. Radioattività ambientale a Vulcano (Isole Eolie). XXVIII Congresso Nazionale AIRP- Taormina, Ottobre 1993; Atti: 535-542.

Brambati A., Cattani G., Celio M. & Colizza E. 1995. Primi risultati delle ricerche sedimentologiche nel bacino di Gioia e sulle coste della Sicilia settentrionale tra la foce del Fiume Pollina ed il Capo Pelerò. In: Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia. Data Report EOCUMM 94. Faranda F.M. Ed.. Napoli: 303-316.

Capaldi G., Cortini M. & Pece R. 1983. U and Th decay-series disequilibria in historical lavas from the Eolian Islands, Thyrrenian Sea. *Isotope Geoscience* 1: 39-55..

Chesselet R. & Lalou C. 1988. The use of natural radionuclides in oceanography: an overview. In Radionuclides: a tool for oceanography. Elsevier Applied Science: 1-11.

Francoforte S., Inguaggiato S., Italiano F. & Nuccio P.M. 1996. Ricerca dei sistemi magmatici attivi delle Isole Eolie tramite la geochimica delle esalazioni sottomarine. Atti XII Congresso Nazionale AIOL, Isola di Vulcano 18-21 Settembre 1996.

Lalou C., 1982. Sediments and sedimentation processes. Ed. Ivanovich M. e Harmon R.S., Oxford: 431-458.

Papucci C., Charmasson S., Delfanti R., Gasco C., Mitchelle P. & Sanchez-Cabeza J.A. 1996. Time evolution and levels of man-made radioactivity in the Mediterranean Sea. Radionuclides in the oceans. Inputs and inventories. Les editions de phisique 1996: 177-197.

Pentreath R.J. 1980. Environmental behaviour and effects. Nucler Power, Man and the Environment. Taylor & Francis Eds., Londra: 183-202.

Triulzi C., Fiori F.$_A$ Nonnis Marzano F. & Vaghi M. 1996. Progetto "EOCUMM95"- Presenza e distribuzione di radionuclidi naturali e antropogenici in campioni di sedimento- (Campagna Luglio 95)- Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia. Data Report EOCUMM 95. (Faranda F.M. ed.), Genova: 517-524.

Triulzi C., Nonnis Marzano F., Vaghi M. & Fiori F. 1995. Presenza e distribuzione di radionuclidi naturali e antropogenici nelle componenti biotiche ed abiotiche. Indagine preliminare (Campagna luglio 94). In: Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia. Data Report EOCUMM 94. (Faranda F.M. ed.), Napoli: 357-362.

Unichim 1991. Saggi radiometrici sulle acque. Manuale 154: M.U. 23 e M.U. 61.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 371 - 380

ANALISI DELLE OSCILLAZIONI TRASVERSALI INDOTTE DA VORTICI SU STRUTTURE SNELLE AL VARIARE DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI

Guido BENASSAI[1] e Francesco VIVIANI[2]

[1] Istituto di Meteorologia e Oceanografia, Istituto Universitario Navale, Napoli
[2]Dipartimento di Ingegneria Navale, Università 'Federico II', Napoli

ABSTRACT

A mathematical model is presented to predict the vortex-induced transverse oscillations of a deep water marine riser in a uniform or vertically-sheared flow. On the basis of published work, a particular response mode of the System is reduced to the response of a rigid cylinder in uniform flow making use of the effective mass ratio, the modal shape factor and the effective structural damping. The total amplitude response is obtained as a superposition of all excited vibration modes.

The responses of two typical risers installed in two different water depths, in uniform and sheared current, nave been evaluated varying some important elements of the model as the amplification factor curve, the vortex-resonance amplitude profile and the drag amplification expression. Obtained results are used to examine the relative importance of adopted formulations in predicting the vortex-induced oscillation amplitudes.

1. INTRODUZIONE

Strutture cilindriche di notevole lunghezza come i riser, immerse in un campo di corrente, generano perturbazioni di quest'ultimo che si traducono nell'emissione di vortici alternati. Il fenomeno innesca oscillazioni idroelastiche trasversali che si amplificano notevolmente se la loro frequenza è prossima ad una delle frequenze naturali della struttura (fenomeno del lock-in), provocandole rilevanti sollecitazioni fino al limite del collasso.

L'applicazione della fluidodinamica numerica alla risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes offre un mezzo di analisi teorica al problema; tale impostazione comporta però calcoli particolarmente laboriosi e non offre, allo stato attuale delle cose, uno strumento operativamente efficace per le esigenze pratiche. Sono stati pertanto sviluppati diversi modelli semiempirici per prevedere le oscillazioni indotte dai vortici e le conseguenti sollecitazioni.

E' stato riscontrato sperimentalmente che l'ampiezza massima delle oscillazioni trasversali dipende essenzialmente dallo smorzamento ridotto k_s, dato da:

$$k_s = 2m\delta / \rho D^2 \quad (1)$$

essendo m la massa totale del cilindro per unità di lunghezza (comprensiva di massa d'acqua aggiunta), 8 il decremento logaritmico dello smorzamento interno, ρ la densità del fluido e D il diametro del cilindro.

L'ampiezza massima adimensionale delle vibrazioni trasversali A_{max}/D in funzione di k_s *è* stata studiata sperimentalmente facendo riferimento ad un cilindro rigido montato elasticamente (si veda Iwan & Blevins, 1974). L'estensione al caso del cilindro elastico viene effettuata attraverso l'introduzione di un parametro di forma:

$$\gamma_n = |\xi_n(x)|_{max} \left[\int_0^1 \xi_n^2(x)dx \Big/ \int_0^1 \xi_n^4(x)dx \right]^{0.5} \quad (2)$$

in cui ξ_n (x) è la forma modale di ordine *n* relativa alla frequenza propria f_n, *x è* la posizione lungo l'asse del riser, 1 è la sua lunghezza. Ad esempio nel caso di trave uniforme appoggiata ai due estremi è γ_n=l. 155.

Pertanto, definita Y_{max} l'ampiezza di picco della oscillazione trasversale della sezione del corpo elastico che presenta la massima deformazione, si ha:

$$\frac{Y_{n\,max}}{D} = \frac{A_{max}}{D}\gamma_n = F_n \gamma_n \quad (3)$$

ove il parametro F_n è generalmente indicato come fattore di amplificazione.

Per esso Iwan (1975) suggerisce la seguente relazione empirica:

$$F_n = \frac{1}{1 + 9.60(k_s / \pi^2)^{1.8}} \quad (4)$$

il cui andamento è riportato in figura 1.

Successivamente Iwan (1981) estende la trattazione precedente ad un corpo flessibile non uniforme investito da una corrente variabile lungo l'asse. In tal caso la parte del cilindro interessata dal lock-in ha limitata estensione spaziale, mentre la parte rimanente contribuisce solo allo smorzamento idrodinamico, ovvero alla dissipazione dell'energia in gioco.

Il modello in questione è ampiamente utilizzato come formulazione di base per la previsione delle ampiezze di risposta trasversale di riser e cavi sottomarini sottoposti a moto ondoso e a correnti. In particolare si segnalano i contributi di Lyons & Patel (1986), Bokaian (1992), Foulhoux & Saubestre (1993).

Il caso di corrente non uniforme in passato è stato trattato da diversi Autori approssimando tale corrente con una uniforme avente pari velocità media. Tale approccio può risultare valido solo se la variazione di velocità lungo la struttura è relativamente modesta; ciò non si verifica per le strutture di notevole lunghezza come i cavi sottomarini o i riser, i quali operano in tipici ambienti oceanici in cui la sovrapposizione di più effetti (correnti generate dal vento, geostrofiche, etc.) rende il flusso variabile in maniera complessa lungo la verticale.

Nel presente articolo si vuole analizzare l'andamento della risposta di tali strutture per diversi profili di velocità della corrente (uniforme, linearmente variabile, geostrofica),

allo scopo di confrontare le risposte che competono ai diversi profili e di evidenziare le differenze rispetto all'approccio di corrente uniforme.

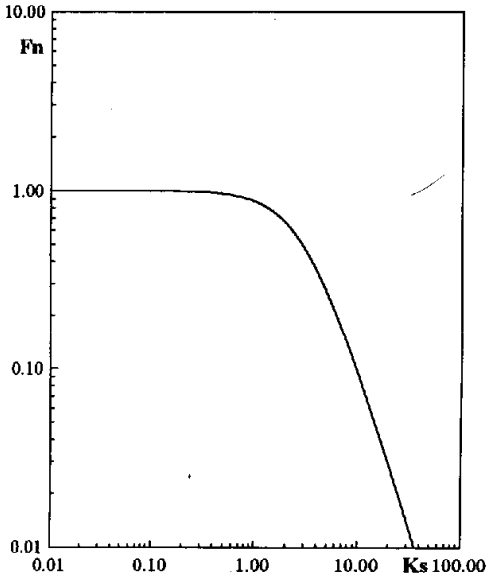


Fig. 1 - Andamento di Y_{max}/D in funzione di k_s adottando la formulazione di Iwan (1975).

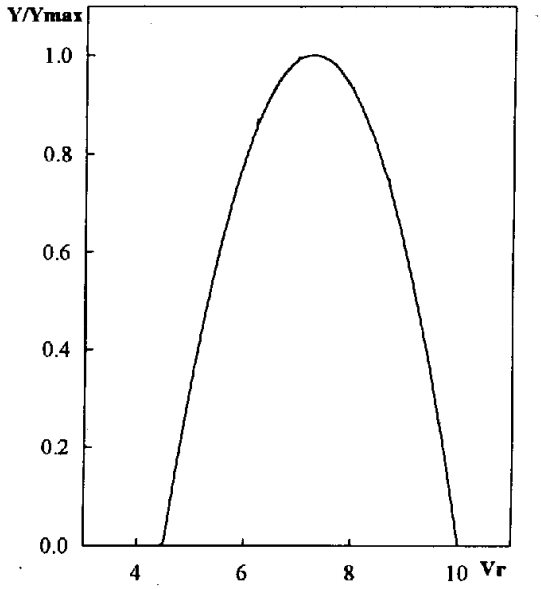


Fig. 2 - Andamento del coefficiente riduttivo secondo Bokaian (1992).

2. MODELLO MATEMATICO

Il modello matematico adottato si basa sulla teoria di Iwan (1981) relativa alle oscillazioni trasversali di strutture non uniformi investite da un flusso non uniforme. In tal caso si tiene conto della limitata estensione spaziale del lock-in e dello smorzamento idrodinamico aggiuntivo dei segmenti non soggetti al lock-in.

A tal fine la struttura è divisa in celle per ciascuna delle quali la frequenza di distacco dei vortici è costante e sincronizzata su una frequenza naturale della struttura; in presenza di lock-in la frequenza naturale del cilindro f_n risulta all'incirca pari alla frequenza di Strouhal f_s, legata alla velocità della corrente V ed al diametro del cilindro D dalla relazione:

$$f_s = S_t V / D \tag{5}$$

con S_t numero di Strouhal, assunto pari a 0,21.

I confini tra le celle sono determinati considerando che, da osservazioni di strutture cilindriche leggermente smorzate in flusso uniforme, il campo di valori della velocità ridotta:

$$V_r = V / f_n D \tag{6}$$

per cui si verifica il fenomeno del lock-in, con la frequenza di distacco dei vortici sintonizzata su una frequenza naturale della struttura, è il seguente:

$$4{,}5 \leq V_r \leq 10 \tag{7}$$

con una risposta di picco per circa V_r =7,25. Tutto ciò viene evidenziato in fig. 2, ove sono riportate le ampiezze di moto in funzione della velocità ridotta.

Se si applicano tali risultati a profili di corrente variabili, l'estensione spaziale per cui la struttura è eccitata in corrispondenza di un assegnato modo di vibrare è data da:

$$V(z) \geq V_{n,min} \equiv 4{,}5\ f_n\ D \tag{8 a}$$
$$V(z) \leq V_{n,max} \equiv 10\ f_n\ D \tag{8 b}$$

con un'eccitazione massima per:

$$V_{n,p} \equiv 7{,}25\ f_n\ D \tag{9}$$

Per ciascun modo eccitato del riser sussiste quindi un tratto costituito da celle attive in cui l'energia viene ceduta dal fluido alla struttura ed il tratto rimanente costituito da celle passive in cui l'energia è dissipata dallo smorzamento fluidodinamico (fig. 3).

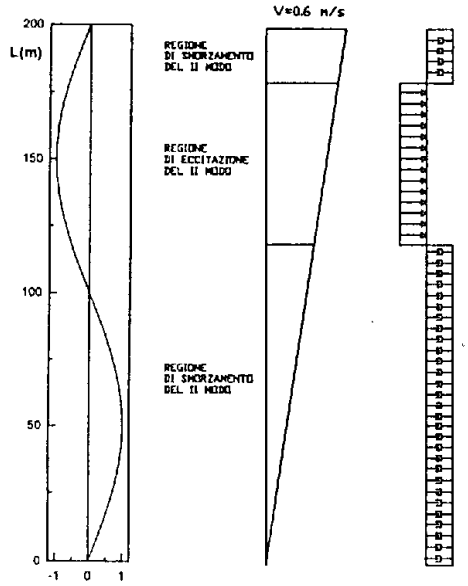


Fig. 3 - Regioni di eccitazione e di smorzamento per il II modo, riser A.

E' possibile peraltro che una stessa cella possa essere soggetta al fenomeno del lock-in per più di un modo di vibrare. Appare allora opportuno privilegiarne uno solo, non sembrando verosimile l'emissione di vortici con tutte le frequenze dei modi di vibrare possibili. Ciò porta all'adozione di una priorità tra i diversi modi di vibrare, come sottolineato in particolare da Lyons & Palei (1986) e Bokaian (1992), che si concretizza dando priorità al modo con frequenza più elevata. Quanto detto si esprime simbolicamente con la funzione s_n (x), pari a 1 per le parti della struttura eccitate nel modo di vibrare n e nulla per le restanti parti.

L'oscillazione relativa all'n-esimo modo di vibrare si pone nella forma:

$$\frac{Y_n\ (x)}{D_s} = F_n\ I_n^{-0.5} \xi_n\ (x) \tag{10}$$

ove D_s è il diametro del segmento interessato dal lock-in ed I_n è il fattore di forma modale definito da:

$$I_n = \frac{\int_0^l m(x)\xi_n^4(x)dx}{\int_0^l m(x)\xi_n^2(x)dx} \tag{11}$$

Il fattore di amplificazione F_n si esprime nello stesso modo del paragrafo precedente; in questo caso però bisogna includere nello smorzamento strutturale quello idrodinamico agente sui segmenti non soggetti a lock-in, quadratico nella velocità, che risulta proporzionale all'ampiezza del moto. Lo smorzamento totale può essere espresso in funzione del fattore di amplificazione secondo l'espressione:

$$\zeta_n^S = \zeta_n^I + F_n\phi_n \tag{12}$$

ove $\zeta_n{}^I$ è lo smorzamento interno, $\zeta_n{}^S$ è lo smorzamento strutturale complessivo e $F_n\Phi_n$ rappresenta lo smorzamento idrodinamico, con Φ_n dato da:

$$\phi_n = \frac{2D_s}{3\pi}\frac{\int_0^l C_D(x)\rho D(x)\left[1-s_n(x)\right]\ |\xi_n(x)|^3 dx}{\left[\int_0^l m(x)\xi_n^4(x)dx\right]^{0.5}\cdot\left[\int_0^l m(x)\xi_n^2(x)dx\right]^{0.5}} \tag{13}$$

Nella eq. (13) $C_D(x)$ è il coefficiente di drag alla generica ascissa x.

Sempre in considerazione della disuniformità di corpo e flusso bisogna poi conoiderare una massa effettiva del sistema mediante:

$$\nu_n = \int_0^l m(x)\xi_n^2(x)dx \Big/ \int_0^l s_n(x)\xi_n^2(x)dx \tag{14}$$

e quindi un rapporto di massa effettiva:

$$\mu_r^n = \nu_n \Big/ (\pi\rho D_s^2/4) \tag{15}$$

In funzione delle precedenti grandezze, lo smorzamento ridotto si esprime allora nel modo seguente:

$$k_s = \pi^2\mu_r^n\zeta_n^S \tag{16}$$

E' stato riscontrato che le oscillazioni trasversali del cilindro producono un incremento del coefficiente di drag, C_D , rispetto al valore relativo allo stesso corpo immobile, C_{D0} Ciò è intuitivamente giustificato dal fatto che, vibrando, la dimensione trasversale che il corpo espone al flusso è maggiore di quella del diametro. Detto incremento è stato esplicitato da Skop *et al.* (1977) con la seguente espressione in termini del parametro di risposta di scia W_r (x):

$$\begin{aligned} C_D / C_{D_0} &= 1 && , W_r(x) \le 1 \\ C_D / C_{D_0} &= 1 + 1.16\left[W_r(x) - 1\right]^{0.65} && , W_r(x) > 1 \end{aligned} \tag{17}$$

in cui:

$$W_r(x) = (1 + 2Y_{max}/D)(f_n/f_s) \tag{18}$$

L'ampiezza di oscillazione per il singolo modo n è ottenuta risolvendo insieme le equazioni (4), (12), (13), (17), (18) con un metodo iterativo fino ad ottenere la convergenza per F_n, così come riportato nel diagramma di flusso in figura 4.

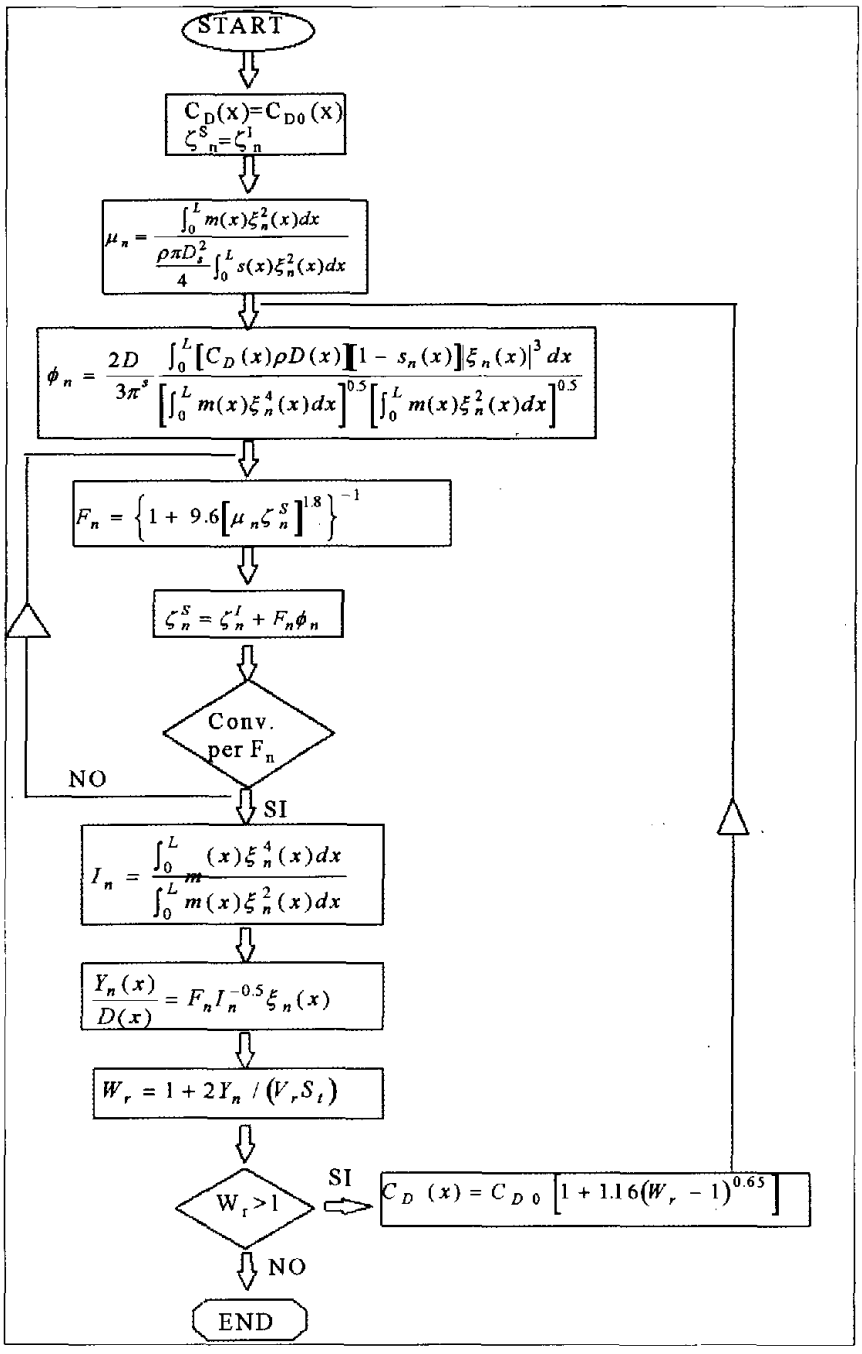


Fig. 4 - Diagramma di flusso del modello matematico.

3. APPLICAZIONI DEL MODELLO A DIVERSI PROFILI DI CORRENTE

Il modello matematico proposto è stato applicato allo studio delle oscillazioni trasversali di due riser situati su fondali rispettivamente di 200 m e 500 m, in diversi regimi di corrente. Le relative caratteristiche geometriche e strutturali sono riportate nella tabella 1.

Tab. 1 - Caratteristiche dei riser esaminati.

	Riser A	Riser B
Lunghezza (m)	200	500
Massa per unità di lunghezza in acqua (kg/m)	663	663
Tensione (KN)	586	1560
Frequenza fondamentale in acqua (Hz)	0.0742	0.0485
Diametro nominale (m)	0.533	0.533
Decremento logaritmico dello smorzamento interno	0.02	0.02

Sono stati considerati gli schemi di corrente uniforme, linearmente variabile e lo schema più realistico di corrente geostrofica. In primo luogo sono state messe a confronto le risposte, per ciascuno dei predetti riser, relative a diverse correnti lineari, aventi tutte valore nullo sul fondo (figure 5 e 6, rispettivamente per i riser A e B).

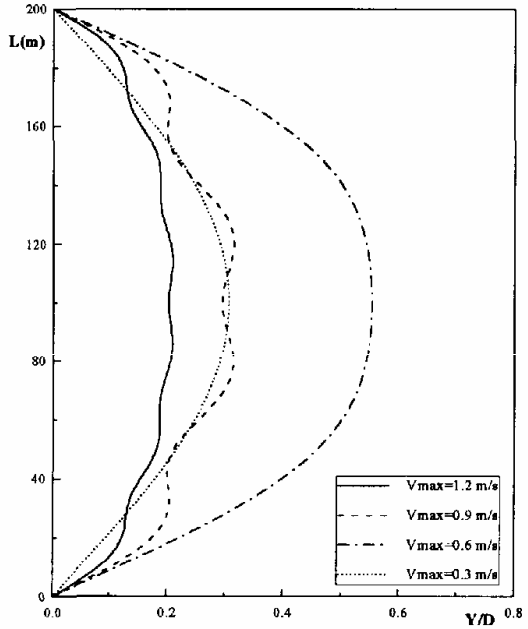


Fig. 5 - Riser A. Risposta al variare della corrente lineare.

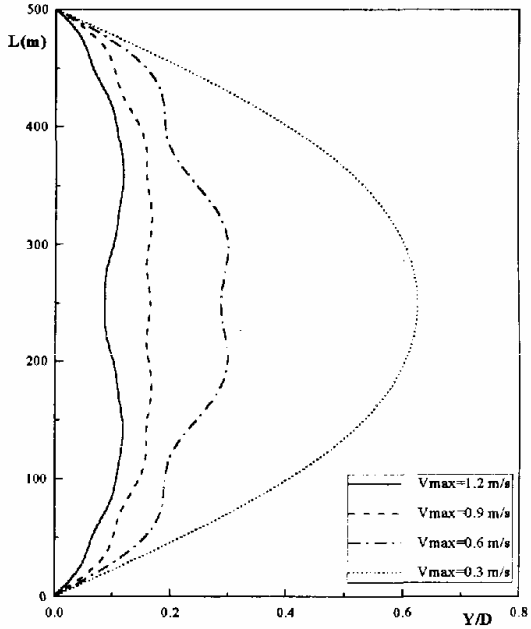


Fig. 6 - Riser B. Risposta al variare della corrente lineare.

E' importante sottolineare che il valore massimo della risposta non si ottiene per la velocità massima, ma per una velocità nettamente inferiore, quella che eccita i primi modi

di vibrare nella zona dei ventri. Infatti man mano che aumenta il gradiente di velocità, aumenta parimenti il numero dei modi eccitati, mentre la dimensione complessiva delle celle attive nel singolo modo diminuisce e quindi la parte di riser che contribuisce allo . smorzamento idrodinamico aumenta (si veda la figura 7, relativa al riser A). Il gradiente che da luogo alla risposta massima è risultato pari a $3x10^{-3}$ m/s-m per il riser A, 6×10^{-4} m/s-m per il riser B.

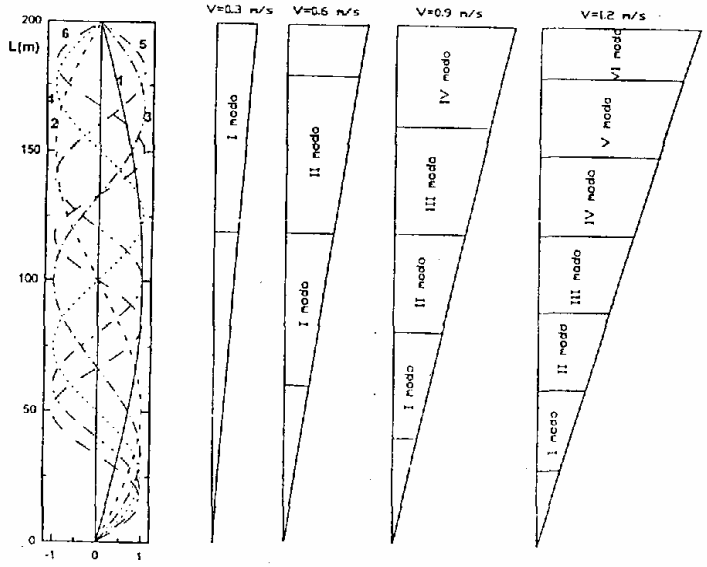


Fig. 7 - Regioni di eccitazione al variare della velocità di corrente, riser A.

La predetta condizione che fornisce il massimo valore della risposta per corrente lineare è stata messa a confronto con la corrispondente condizione di corrente uniforme con pari velocità media. I risultati sono riportati nelle figure 8 e 9, rispettivamente per i riser A e B.

I risultati evidenziano che la risposta relativa alla corrente uniforme risulta sempre maggiore di quella relativa alla corrente lineare per entrambi i riser (in particolar modo per il riser A), come risulta dalla tabella 2 (in accordo con la letteratura, si veda ad esempio Wang *et al.,* 1988).

Tab. 2 - Massime oscillazioni trasversali per i due riser.

	$(Y/D)_{max}$ per corrente uniforme	$(Y/D)_{max}$ per corrente lineare
Riser A	1,14	0,56
Riser B	0,83	0,63

Infatti in presenza di una corrente uniforme il riser viene eccitato per tutta la sua lunghezza, mentre in presenza di una corrente lineare (anche per un'eccitazione dei primi modi nella zona dei ventri, che comporta la massima risposta) il riser viene eccitato solo per una parte della sua lunghezza, mentre la restante parte contribuisce a contenere la risposta in quanto è soggetta allo smorzamento idrodinamico.

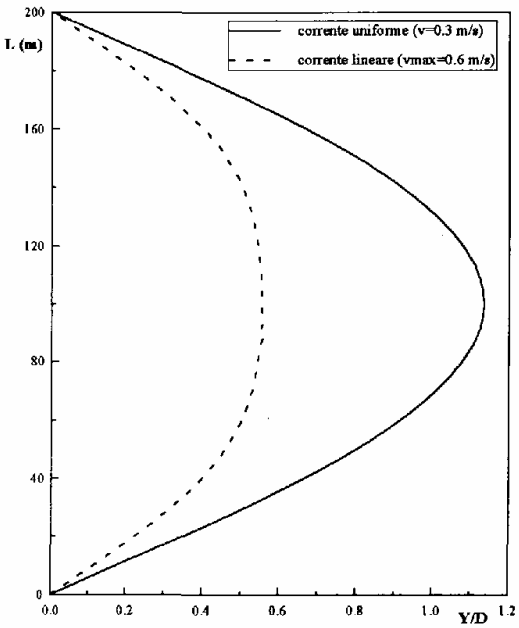


Fig. 8 - Riser A. Confronto tra risposte per corrente lineare e corrente uniforme.

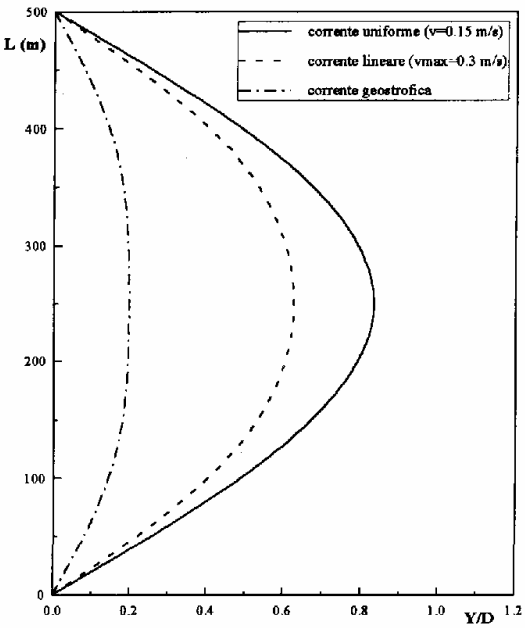


Fig. 9 - Riser B. Confronto tra risposte per corrente lineare, uniforme e geostrofica.

Sempre nella figura 9 è stata riportata la risposta fornita dal riser B in presenza di una corrente geostrofica il cui andamento delle velocità è descritto nella tabella 3. La risposta che compete al profilo di corrente geostrofica risulta sensibilmente inferiore a quella che compete al profilo di corrente uniforme ed a quello di corrente lineare. Ciò dipende dal fatto che gli ultimi due profili presentano nella metà inferiore del riser una velocità ancora sufficientemente elevata da eccitare in misura sostanziale i primi due modi di vibrare in corrispondenza dei ventri; tale circostanza non si verifica per il profilo di corrente geostrofica, caratterizzato nella metà inferiore del riser da velocità molto ridotte.

Tab. 3 - Profilo sperimentale di corrente geostrofica

h (%)	V_{rel} (m/s)	h (m)	z (m)
0	0.26	0	500.0
2.5	0.27	12.5	487.5
5	0.28	25.0	475.0
7.5	0.29	37.5	462.5
10	0.29	50.0	450.0
15	0.28	75.0	425.0
20	0.24	100.0	400.0
30	0.17	150.0	350.0
40	0.11	200.0	300.0
60	0.03	300.0	200.0
80	0.005	400.0	100.0
100	0	500.0	0

4. CONCLUSIONI

Un modello matematico relativo al calcolo di oscillazioni trasversali di strutture non uniformi soggette ad un flusso non uniforme è stato applicato allo studio della risposta di due riser della lunghezza di 200 e 500 m, in diversi regimi di corrente.

I principali risultati dell'analisi sono i seguenti:

- la risposta massima non avviene in corrispondenza del massimo valore della velocità;
- non è possibile schematizzare un profilo di corrente lineare con uno uniforme a parità di velocità media, avendosi in genere valori nettamente più elevati della risposta nel secondo caso;
- per motivi analoghi a quelli di cui sopra risulta difficile schematizzare una corrente geostrofica con profili di tipo lineare o uniforme.

Ciò dimostra una volta di più la necessità di caratterizzare adeguatamente il regime delle correnti ai fini del corretto proporzionamento delle strutture marine.

Tale osservazione vale anche per altre problematiche, ad esempio nel caso di catene correntometriche ove le vibrazioni del cavo indotte dal fenomeno esaminato possono comportare rilevanti errori di misura.

BIBLIOGRAFIA

Benassai G., Campanile A. & Viviani F. 1996. Analisi delle forze pulsanti dovute all'emissione di vortici su strutture snelle. Atti del 4° Congresso AIOM: 199-208.

Bokaian A. 1992. Vortex-excited instabilities prediction of marine risers and tethers. Proceedings ISOPE, Vol. 2: 264-275.

Bruschi R., Vitali L. & Tomasini E.P. 1989. Oscillazioni idroelastiche di componenti tubolari snelli investiti da flussi tagliati. Atti del 2° Congresso AIOM: 133-142.

Foulhoux L. & Saubestre V. 1993. An engineering approach to characterize the lock-in phenomenon generated by a current on a flexible column. Proceedings ISOPE, Vol. 3:392-397.

Iwan W.D. 1975. The vortex induced oscillation of elastic structural elements. ASME *Journal of Engineering far Industry,* Vol. 97: 1378-1382.

Iwan W.D. 1981. The vortex induced oscillation of non-uniform structural systems. *Journal of Sound and Vibration,* Vol. 79, part 2: 291-301.

Iwan W.D. & Blevins R.D. 1974. A model for vortex induced oscillation of structures. *Journal of Applied Mechanics,* Vol. 41: 581-586.

Lyons G.J. & Patel M.H. 1986. A prediction technique for vortex induced transverse response of marine risers and tethers. *Journal of Sound and Vibration,* Vol. 111, part 3: 467-487.

Pond S. & Pickard G.L. 1983. Introductory dynamical oceanography. Pergamon Press

Skop R.A., Griffin O.M., Ramberg S.E. 1977. Strumming predictions for the Seacon II experimental mooring. Offshore Technology Conference, *OTC Paper 2884:* 61-66

Wang E., Whitney A.K. & Nikkel K.G. 1988. Vortex-shedding response of long cylindrical structures in shear flow. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering,* Voi. 110: 24-31.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 381 - 390

COUPLING PHYSICAL AND BIOLOGICAL MODELLING IN COASTAL ECOSYSTEMS: THE VENICE LAGOON EXAMPLE

Andrea BERGAMASCO, Sandro CARNIEL

Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse,
CNR, S. Polo 1364, Venice I-30125, Italy

RIASSUNTO

Viene presentato un tentativo di analizzare il bilancio di massa di macronutrienti tra il nord Adriatico e la Laguna di Venezia, attraverso un modello matematico annidato ed accoppiato. La parte idrodinamica del modello simula l'andamento dell'elevazione della superficie marina, dei campi 3-D di velocità, temperatura, salinità e densità sotto l'effetto di varie forzanti. Due modelli aventi diverse risoluzioni sono stati annidati: il primo (griglia a 9.6 km) descrive le caratteristiche idrodinamiche alla scala di bacino e sub-bacino, mentre il secondo (griglia-a 1.2 km) le interazioni tra il mare aperto e la laguna. Quest'ultimo modello viene accoppiato con un semplice submodello descrivente la produzione primaria, per investigare le dinamiche dell'ecosistema durante il periodo estivo. Sebbene vengano presentate simulazioni dell'evoluzione del bloom algale nel breve periodo, i risultati mostrano come i flussi di nutriente non siano sempre diretti univocamente dalla terraferma al mare aperto.

ABSTRACT

In this paper, a first attempt of analyzing the macronutrients mass balance between the north Adriatic coastal sea and the lagoon of Venice by means of a nested and coupled model is presented. The hydrodynamic part of the model simulates the evolution of the sea surface elevation and of the 3-D fields of velocity, temperature, salinity and density under some forcings effects. Two models with different spatial scales nave been nested: the first one (9.6 km grid size) describes the basin and sub-basin scale hydrodynamical features, while the second one (1.2 km grid size) the interactions between the open sea and the lagoon. This last circulation model has been coupled with a simple primary production submodel, in order to investigate the short-term dynamic of the ecosystem during spring time. Even if in this paper short-term simulations of the evolution of a spring algal bloom are presented, results show that nutrient fluxes are not always directed one-way from the mainland to the open sea.

1. INTRODUCTION

Up to now, the Venice Lagoon and the Adriatic Sea have been considered as two independent systems, as they interact only through three narrow inlets. Also in the modelling approach, the lagoon area was completely neglected during simulations of the Adriatic Sea dynamics and vice-versa. This might not be completely sufficient for studying the dispersion and fate of pollutants; in fact, though the general circulation of the Adriatic Sea is almost independent on the presence of the lagoon area, the latter might become important for its loadings in macronutrients and chemicals.

A relevant fraction of the nutrient loads of the lagoon is carried along small rivers which flow into the basin, bringing nitrogen and phosphorous of agricultural, industrial and municipal origin. The central area is also affected by discharges coming from the industrial area of Porto Marghera and from the city of Venice. It has commonly been thought that the primary production in the lagoon is sustained only by these inputs, but recently some authors (Sfriso & Marcomini, 1993), have suggested that the Adriatic Sea might play a role as reservoir of nutrients for the lagoon during late spring - summer. According to these scientists, the sea could be the most important nutrients source in this period, when the fluxes from rivers are low because of their reduced flow. In fact, field studies have shown that inorganic nitrogen concentrations are sometimes higher off-shore and al the inlets than inside the lagoon (Sfriso *et al,* 1994). These findings led the authors to quote that "the flow of eutrophic substances is not one-way from the mainland towards the northern Adriatic Sea".

Transport models, based on hydrodynamic ones, appear to be useful tools for investigating the above problems, but, due the different space-scales of the two systems, lagoon and sea have always been modelled separately. In this paper, it is presented a first attempt of analyzing the nutrients mass balance between sea and lagoon by means of a single model, which describes the circulation in the lagoon and in the coastal area. The nested transport model has been coupled with a very simple submodel of primary production, in order to understand wether fluxes of nutrients from the Adriatic Sea might become important for sustaining the primary production in the lagoon.

2. THE CIRCULATION MODEL

The first step of the work has been the development of two nested tridimensional circulation models, for carrying the information from the whole Adriatic basin (coarse resolution, with 9.6 km grid size, see Figure 1) to a smaller basin, (medium resolution with 1.2 km grid size, see Figure 2) including the coastal region of the Venice Lagoon area. The Adriatic Sea shows an elongated form, having the major axis of about 800 Km and a width of 200 km; it is characterized by a maximum depth of 1200 m, but the north part of the basin, closed and shallower, has an average depth of 50 m. The Adriatic west coast, on which we focus in this study, shows a depth bottom gently deepening towards the offshore direction. On the other side, the lagoon covers an area of almost 450 km^2, 75% of which is not deeper than 2 m, while the main channels deeper than 6 m reach just a 5%.

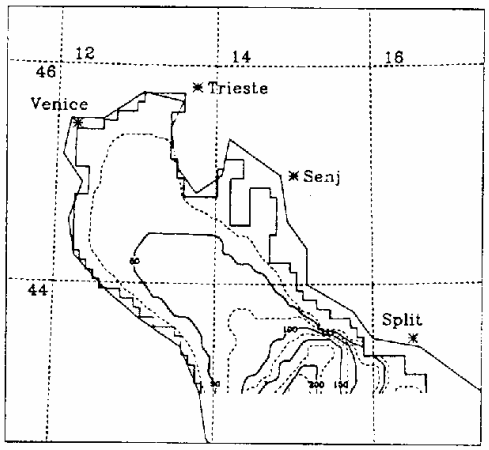


Fig. 1 - Adratic Sea bottom topography with discretized (9.6 km grid size) and real coastline.

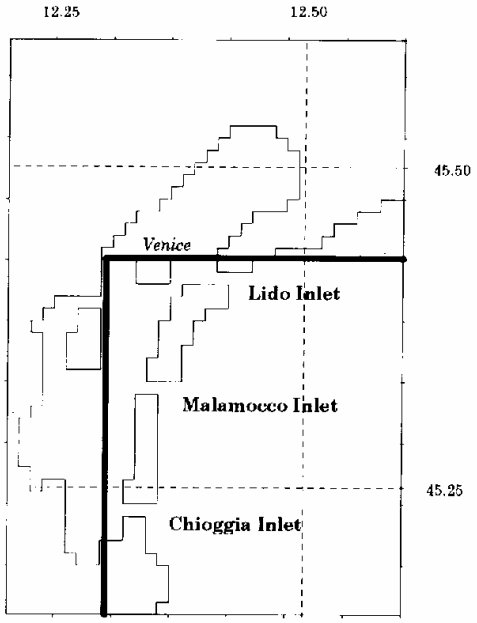


Fig. 2 - North Adriatic and Venice Lagoon area at 1.2 knm grid size rersolution (light linc) and top left edge of Fig. 1 (bold line).

A correct simulation of the circulation in the coastal area, shallower than offshore, and in the nearby inlets, where relatively high velocities are encountered, can be achieved only by taking into account the non linearity of the advection terms in the numerical discretization of the Navier-Stokes equations. In addition, the need of following the bathymetric slopes changes from the Adriatic Sea to the lagoon area, demands a numerical mode! with a detailed vertical resolution. Last, as several small rivers flow in the lagoon, it is important to take into consideration the buoyancy effects due to fresh water mixing.

The Princeton Ocean Model *POM* (Blumberg & Mellor, 1987) seemed to be a good tool for coping with the above problems; the momentum equations can be summarized by the following expression:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}\vec{u} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}p + f\left(\vec{k} \times \vec{u}\right) + \vec{R} \qquad (1)$$

where $\vec{u}$ stands for the velocity vector with components *(u,v,w)* and *t* is time. The first term on the right hand side accounts both for barotropic and baroclinic pressure changes; ρ is the water density, $f=2\Omega \sin\upsilon$ is the Coriolis parameter, where Ω is the angular velocity of rotation of the earth, υ the latitude, $\vec{k}$ the vertical unit vector and $\vec{R}$ represents the stress terms and the horizontal - vertical viscosities, computed by a turbulence closure scheme of the second order (Mellor & Yamada, 1982).

The circulation model allows the simulation of the tridimensional fields of velocity, temperature, salinity and density, and the evolution of the sea surface elevation. It can take into account different forcings, as astronomical and meteorological tides, winds, thermal and evaporative fluxes, river discharges, which can assume climatological values or be representative of selected transient situations. The numerical code has been modified and revised by the authors,making it suitable for the application to two nested models which describe the circulation in a complex coastal System: the whole Adriatic Sea and a coastal zone which includes the lagoon of Venice. The first System has been discretized using a 9.6 km size regular grid: its circulation drives the one of the smaller area, which is resolved with a grid size of 1.2 km area is presented.

3. THE BIOCHEMICAL MODEL

The primary production in the coastal area has been investigated using a simple 3-D biochemical model, which has been coupled with the transport one. In this first attempt, it has been chosen a minimum set of state variables: a nutrient pool (total inorganic nitrogen), a phytoplanktonic pool, and the concentration of dissolved oxygen. This choice is consistent with the aim of the present study, which is concerned with the analysis of the evolution of the primary production in the short term, and with the necessity of a full coupling and a good nesting methodology.

The equation governing the generic state variable can be written as:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} c_i = \vec{\nabla}\left(K \vec{\nabla} c_i \right) + S_i(\vec{c}, t) \qquad (2)$$

where C; is the concentration or density of a state variable and e is the state vector. K stands for a variable non isotropic diffusivity, while the last term accounts for the local rate of change due to interactions between the state variables. (see Appendix, in which the first three terms are condensed in the total derivative expression, and $S_i(\mathbf{c},t)$ are extensively presented)

The formulations which describe nutrient uptake and phytoplankton growth and decay are quite commonly used in such models; their parametrization has been taken from other modelling or sensitivity studies regarding the lagoon of Venice (Pastres *et al.,* 1995). Formulations and parameters are presented in Appendix. The forcing functions of the primary production submodel are nutrient loads, water temperature and light intensity. The circulation model succeeds in reproducing dynamical evolution of nutrient concentration and temperature fields as passive tracers. Results will be seen in next section. The hourly light intensity has been computed from climatological observations (Dejak *et al,* 1992): it varies according with the season but does not depend on the position in the spatial grid.

Oxygen dynamic is mainly driven by the photosynthetic net production of phytoplankton. Biological decomposition has not been modelled in detail at this stage, by taking BOD concentration as a Constant. The physical process of reaeration is confined to the upper layer.

4. RESULTS AND DISCUSSION

In order to proof the capability of the model in simulating the major basin and sub-basin oceanographic features, a first run, without any biochemical reactions, was carried out forcing the whole Adriatic Sea with a Sirocco wind, blowing for 6 days at Constant velocity (10 m/s) from S-E to N-W (other simulations with Bora events are comparable to those obtained by other authors, e.g. Bergamasco & Gacic, 1996). Results, not shown in this paper, show that the System reaches a quasi-steady state under the wind forcing effect after 5 days; transports obtained are in good qualitative agreement with observations, showing an upwind current entering the south lagoon from Chioggia inlet and leaving the basin from the central inlet. This has been mainly achieved because of the fully non-linear model adopted, which allows a good numerical simulation expecially where coastal currents are more affected by the shallow shelf area.

Dispersion of nutrient and the short term dynamic of the primary production have been investigated in two 60 days simulations. In both runs the circulation of the whole Adriatic basin has been forced by the Mi tidal component, the principal component of the tide, applied along the open boundary at the Otranto strait, in the southern part of the region. The values of velocities, temperature and salinity are transferred to the model working at a coastal scale. The period simulated refers to the months of April and May, in which the light radiation and the temperature can enhance an appreciable phytoplanktonic growth. The T-S initial configuration, in both cases, uses temperature and salinity fields obtained with standard objective analysis techniques from *in situ* data monthly collected by CNR-ISDGM, as well as heat, precipitative and evaporative fluxes as forcings conditions (Picco, 1991).

In the first simulation, the biological non conservative interactions have not been included, in order to test the consistency of the transport model and its capacity of generating a well defined spatial pattern of nutrient concentration, starting from an idealized homogeneous initial conditions, in presence of realistic loads from the mainland obtained from SILVIA database (Ministero dei Lavori Pubblici *et al,* 1994). The circulation reaches a quasi-steady state after about 30 days, indicating that there is a balance between tidal forcing and friction dissipation. A clear tendency towards a stationary state is also shown by the distribution of nutrient, which, in this run, behaves as a passive tracer. The experiment shows that the model is able to disperse the nutrient without accumulation inside the lagoon, conserving its total amount: the nutrient spatial pattern docs not change appreciably after two weeks, as can be seen in Figure 3, where relative maxima appear in the south and north-west area, where the loadings due to river discharges are greater.

In this test, a small increase in the positive nutrient net flux. from the Venice lagoon to the sea has been detected, resulting from an incoming flux along Lido inlet, (negative values) which does not compensate the two positive contributions along Chioggia and Malamocco. This trend can find an explanation in the local circulation gyre, which is mainly anti-cyclonic in the coastal area, while the general circulation of the northern Adriatic Sea is cyclonic. The local gyre moves northward the nutrient outcoming from Malamocco and Chioggia inlets, and pushes it back into the lagoon area

through Lido inlet. This dynamic is suggested also by Figure 4, where the total daily mean transport field averaged during day 30th is presented.

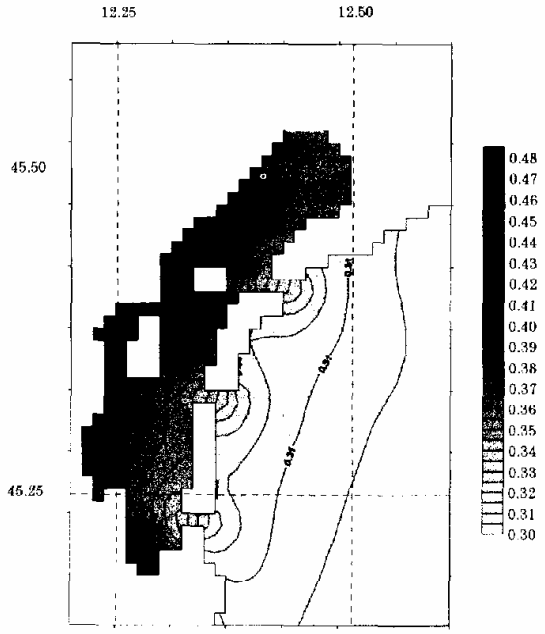


Fig. 3 - Nutrient surface field (mg N/l) after 60 days of only-transport simulation, with input releases and omogenous nutrient conditions.

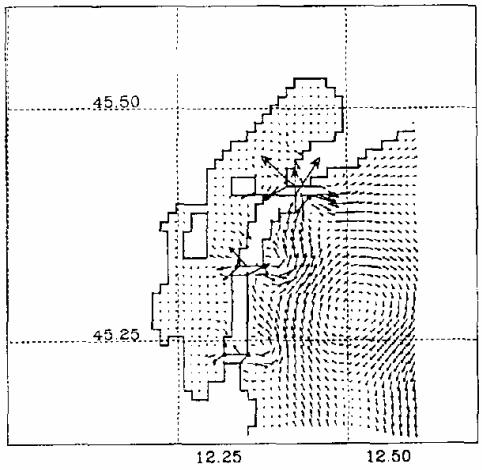


Fig. 4 - Total transport during the 30th day of simulation (max. vector 0.565 m**2/sec).

In the second numerical experiment biological interactions have been considered. The initial distribution of nitrogen has been taken from the previous simulation, (see again Figure 3) while phytoplankton density has been set initially constant.

The surface fields of nutrient and phytoplankton at day 20, when phytoplankton is at its maximum, are shown in Figure 5(a), 5(b). Maximum values of phytoplankton density are located in the central-west area (Figure 5(b)), where temperature is higher than in the southern area. Water temperature can be considered a limiting factor at the beginning of the bloom, as the concentration of nutrients is above the half saturation Constant (K_n in Appendix) in the whole basin at the end of the winter. Therefore phytoplankton starts blooming in the northern area, where the morphology and the shallow basin cause a faster increase of the temperature. As a consequence, in this area nutrient is depleted at a higher rate and not promptly restored by inputs from the mainland. On the contrary, the central-west area is enriched by relevant nutrient loads

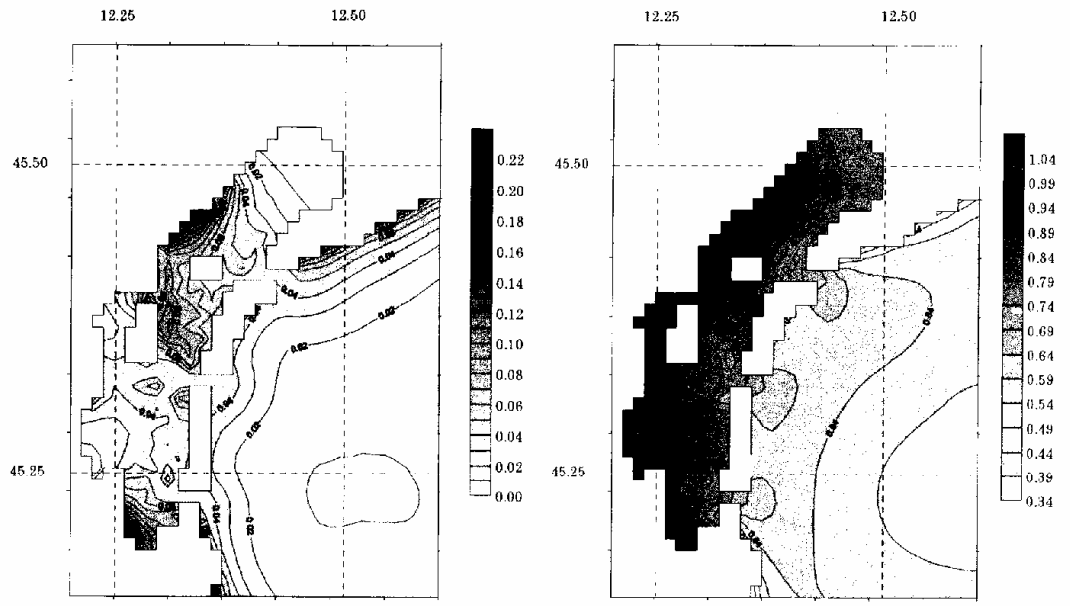


Fig. 5 - Surface fields at day 20 of (a) nutrient (mg N/l), (b) phytoplankton (mg C/l), obtained from the transport-biochemical simulation.

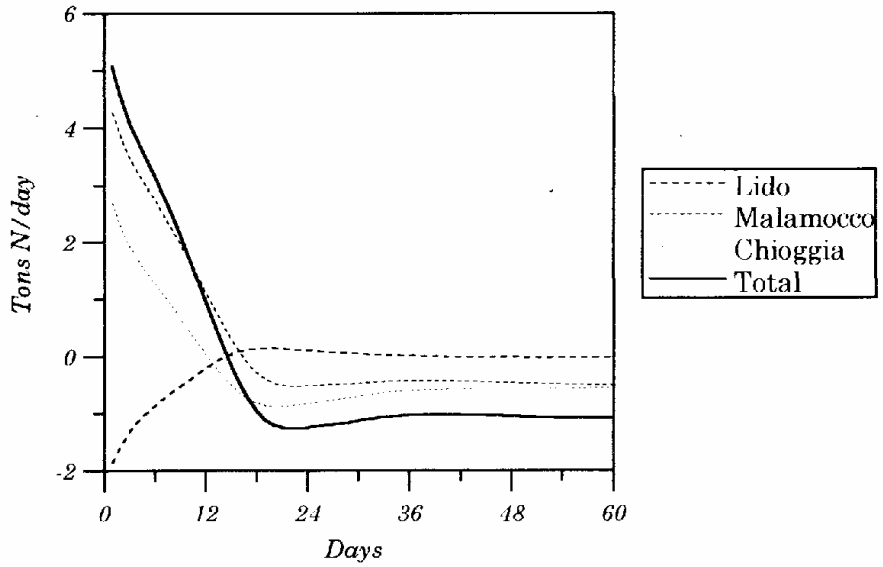


Fig. 6 - Nutrient fluxes along the three inlets and their sum during the 60 days of transport-biochemical simulation.

from the mainland which sustain the primary production. In fact, as can be seen in Figure 5(a), nitrogen is higher in the central-west area, even though phytoplankton is more abundant in this area. Oxygen concentration, not shown here, clearly depends on phytoplankton density and its spatial pattern closely resembles that of Figure 5(b).

After the bloom, the southern part of the basin sustains relatively high phytoplankton values for longer period than the north area: this seems to be caused by recirculation processes around Chioggia inlet and localized river discharges, while the plot of total nitrogen fluxes, bold line in Figure 6, shows again a net export from the lagoon to the sea until about day 15. Fluxes are sea directed at Chioggia and Malamocco, while at Lido inlet nutrient flow is opposite. After that the lagoon imports nutrient, due to small inflows at Chioggia and Malamocco inlets.

5. CONCLUSIONS

Results presented show that the general circulation model, nested to resolve high scales and coupled to simulate biological processes, can be successfully applied, after being purposely modified, to the modelling of complex coastal behavior. This allows to correctly model the circulation in real systems like the lagoon of Venice and the Adriatic Sea, previously treated as two separate systems because they are connected by three narrow inlets. This approach is particularly useful for modelling energy and mass transport phenomena and their effects on primary production, as it allows one to estimate the flux of nutrients between the two systems. Even if in this paper short-term simulations of the evolution of a spring algal bloom are presented, results show that nutrient fluxes are not always directed one-way from the mainland to the open sea. Such theoretical finding is in agreement with the opinion of some field researchers and suggests once more that ecological models of complex systems need to be supported by detailed description of transport processes. Nevertheless, this first evidence should be confirmed by more detailed field analysis and theoretical studies. Particularly, the study could gain useful improvements from a more detailed discretization of the lagoon area, which would increase the channels resolution, and from an improvement of the biochemical submodel, e.g. including remineralization and grazing.

REFERENCES

Bergamasco A. & Gacic M. 1996. Baroclinic response of the Adriatic Sea to an episode of Bora-wind. *J. Phys. Oceanogr.,* 26: 1354-1369.

Blumberg A.F. & Mellor G.L. 1987. A description of a three dimensional coastal ocean circulation model. In: Three dimensional coastal ocean models, Coastal and Estuarine Sciences. (Heaps N.S. ed), American Geophysical Union, 208 pp.

Dejak C., Franco D., Pastres R., Solidoro C. & Pecenik G. 1992. Thermal exchanges at air water interfaces and reproduction of temperature vertical profiles in water columns. *J. Marine Systems* 3: 465-476.

Gromiec M. 1983. Dissolved oxygen: river models. In: Application of ecological modelling to environmental management, J. Biochemical, Part A, Elsevier Science Pub.: 131-225.

Lassiter R.R. & Kearns O.K. 1974. Phytoplankton populations changes and nutrient fluctuations in a simple aquatic ecosystem model. In: Modeling the euthrofication process (Middlebrooks, E.J., Falkenberg; D.H. & Maloney, T.E., eds). Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI: 131-138.

Mellor G.L. & Yamada T. 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.,* 20: 851-875.

Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato alle Acque di Venezia & Consorzio Venezia Nuova, 1994. Database SILVIA: modellizzazione geografica di fosforo e azoto nel bacino scolante nella laguna di Venezia (generazione e scarico), (floppy disk, in italian)

Monod J. 1942. Recherches sur la crotssance des cultures bacteirennes. Hermon et C., Paris.

Pastres R., Franco D., Pecenik G., Solidoro C. & Dejak C. 1995. Using parallel computers in environmental modelling: a working example. *Ecol. Modelling,* 80: 69-85.

Picco P. 1991. Evaporation and heat exchanges between the sea and the atmosphere in the gulf of Trieste during 1988. *Nuovo Cim.,* 14: 335-345.

Sfriso A. & Marcomini A. 1993. Gross primary production and nutrient behaviour in a shallow coastal environment. *Bioresource Technology,* 45: 235-250.

Sfriso A., Marcomini A. & Pavoni B. 1994. Annual nutrient exchanges between the central lagoon of Venice and the northern Adriatic Sea. *Sci. Total Environ.,* 156: 77-92.

Steele J.H. 1962. Environmental control of photosynthesis in the sea. *Limnol. Oceanogr., 1:* 137-150.

APPENDIX

The equation set, the parameters and functional expressions used for the biochemical model are hereby presented; note that the left sides represent the total derivative, which therefore accounts for both advective and diffusive processes.

$$\begin{cases} \dfrac{dP}{dt} = \left[\mu_{max} f_1(L) f_2(T) f_3(N) - K_{resp} - K_{mf}\right] P \\ \dfrac{dN}{dt} = \left[-RNC\mu_{max} f_1(L) f_2(T) f_3(N)\right] P + Input \\ \dfrac{dO}{dt} = K_{rear}\left(O_S - O\right) + ROC\left[\mu_{max} f_1(L) f_2(T) f_3(N) - K_{resp}\right] P - K_{dec} BOD \end{cases}$$

where *BOD* is not modelled as a state variable, but as an oxygen demand Constant in time and changing in space.

P	Phytoplankton concentration	mgC/l
O	Dissolved Oxygen concentration	mgO_2/l
BOD	Biological Oxygen Demand	mgO_2/l
K_{resp}	Phytoplankton respiration coefficient	0.004 day^{-1}
K_{mf}	Phytoplankton mortality coefficient	0.007 day^{-1}
K_{dec}	BOD decayment coefficient	0.0048 day^{-1}
K_{rear}	Reaeration coefficient	0.04584 day^{-1}
μ_{max}	Phytoplankton maximum growth rate	0.1 $hour^{-1}$
ROC	Conversion ratio Oxygen/Carbon	2.66 adimensional
RNC	Conversion ratio Nitrogen/Carbon	0.15 adimensional

$$f_1(L) = \frac{I_0 e^{(-K_{ext}h)}}{I_0 e^{(-K_{ext}h)} + K_{light}}$$ (Steele, 1962)

I_0	Incoming light radiation	lux
K_{ext}	Extinction coefficient	0.4 ÷ 0.7 m^{-1}
K_{light}	Light half saturation constant	1500 lux

$$f_2(T) = \left(\frac{T_{MAX} - T}{T_{MAX} - T_{opt}} \right)^{\beta (T_{MAX} - T_{opt})} e^{\beta (T - T_{opt})}$$ (Lassiter & Kearns, 1974)

β	Thermal coefficient	0.1157 $°C^{-1}$
T_{MAX}	Phytoplankton growth max. temperature	30 °C
T_{opt}	Phytoplankton growth optimum temperature	20 °C

$$f_3(N) = \frac{N}{N + K_n}$$ (Monod, 1942)

N	Nitrogen concentration	mgN/l
K_n	Nitrogen half saturation constant	0.05 mgN/l

$$O_S = a - bT + cT^2 + dTS + eS^2$$ (Gromiec, 1983)

where $a=14.6244$, $b=-0.367134$, $c=0.0044972$, $d=0.00005$, $e=0.0002739$

T	Temperature	°C
S	Salinity	PSU

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 391 - 406

CARATTERISTICHE TESSITURALI E MINERALOGICHE DEI SEDIMENTI DEL MARE DI CRETA ORIENTALE

Achille BONAZZI[1], Giampiero CAIANI[2], Giovanni LENARDON[2], Giorgio TUNIS[2], Anna VINCI[1]

[1] Dipartimento di Scienze della Terra. Università di Parma
[2] Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine. Università di Trieste

ABSTRACT

Grain-size and mineralogical analyses of sediments from 10 gravity cores collected during MAC-GAN cruise in the south-eastern Aegean Sea let to outline the sediment dispersion patterns. Turbiditic layers occur in the cores from the northwest part of the examined zone and from the Karpathos basin; fine sediments, present in the southern cores, point out a depositional environment with scarce land-derived materials. High concentration of illite in the upper sediments can be due to the sea level rise of the last 10000 years. Heavy minerals content shows the prevalence of metastable minerals, which are related to recent and unreworked sediments. On the base of tephra layers, derived from explosive eruption of the Santorini complex and from the Campanian area, and of sapropelitic layers have been evaluated the sedimentation rates in some sectors of the examined area; low values have been found in western basins and for more recent lime.

1. INTRODUZIONE

Scopo di questo studio è delineare alcuni aspetti del quadro sedimentologico del settore orientale del Mare di Creta sulla base di analisi granulometriche e mineralogiche di 10 carote prelevate nei bacini di Kamilonisi e di Karpathos e nel settore nord-orientale del bacino centrale di Iraklion compreso tra le isole di Anafi e le isolette di Sirna (S Astipalaia), Chamili e di altri minori (Figg. 1 e 2).

La campagna MAC-GAN '86 di prelevamento delle carote è stata effettuata nel 1986 con la N/O Bannock del C.N.R. (Rossi *et al,* 1986), in una zona (Fig. 2) già sufficientemente nota sotto il profilo geologico e sedimentologico (Jongsma *et al,* 1977; Mascle *et al,* 1982; Battole *et al,* 1983; Lyberis, 1984; Mascle *et al,* 1986; Mascle & Martin, 1990).

Nell'ottica di un approfondimento degli studi le conoscenze sedimentologiche emerse da questo lavoro saranno confrontate con i risultati delle analisi delle carote prelevate durante una precedente crociera nel Mar di Creta, di cui sono stati già

pubblicati i dati essenziali (Bartole *et al,* 1983), nonché con quelle mineralogiche dei campioni di sabbia raccolti lungo le coste delle isole del Mar Egeo Meridionale (Brambati *et al.,* in preparazione).

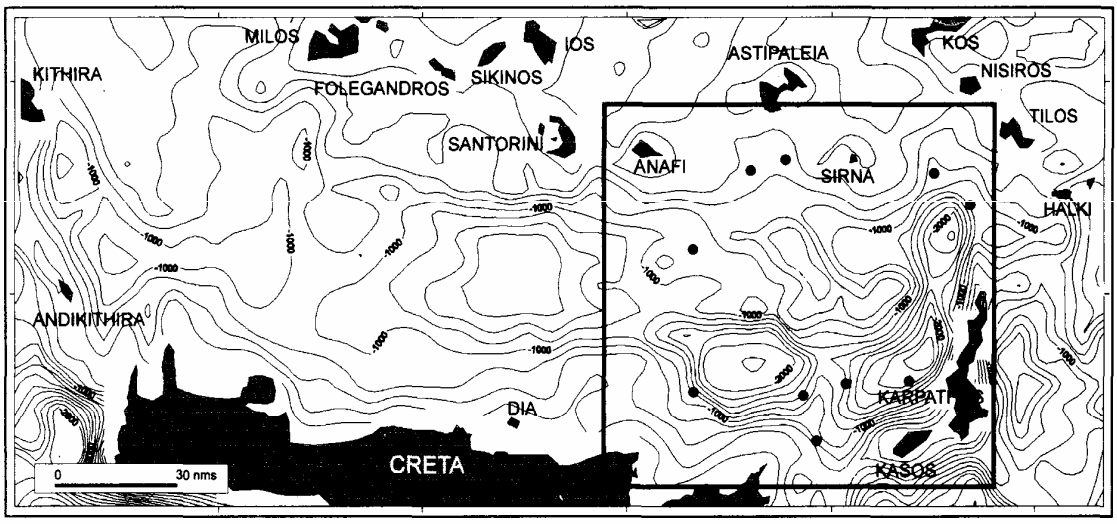


Fig. 1 - Mare Egeo Meridionale: il riquadro evidenzia l'area di indagine, con l'ubicazione delle carote esaminate. La profondità è in metri.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DEL MARE DI CRETA ORIENTALE

La morfologia e la geologia del mare Egeo meridionale sono fortemente condizionate dalla subduzione della placca africana al di sotto della microplacca egea. In questo quadro dinamico l'isola di Creta risulta ubicata a qualche centinaio di km a N della zona attiva di subduzione ellenica che è contraddistinta da un'intensa tettonica compressiva. L'arco vulcanico Egeo comprende molte isole dell'Egeo meridionale, tra cui Milos, Folegandros, los, Santorini, Anafi ed Amorgos, ed è caratterizzato da fenomeni vulcanici dal Terziario all'attuale. All'arco vulcanico è associato un avanarco sedimentario che dal Peloponneso si estende fino all'isola di Rodi.

Gran parte della regione Egea è sottoposta ad un regime tettonico distensivo, come dimostrato dalla distribuzione degli epicentri dei terremoti e da studi di neotettonica (Mc Kenzie, 1978; Papadopoulos *et al,* 1986; Jackson & Mc Kenzie, 1988, etc.). Gli effetti della distensione erano attivi già nel Miocene medio-superiore e si sono manifestati mediante fenomeni di *stretching* crostale, con valori massimi di assottigliamento nella regione del Mare di Creta (Makris, 1978) e contemporanea attività magmatica. Anche lo studio delle linee sismiche disponibili nell'Egeo meridionale ha permesso di mappare le faglie cenozoiche del Mare di Creta e dei suoi bacini creati principalmente per fenomeni distensivi; Creta è pure dominata da fenomeni distensivi che presentano varie direzioni (Angelier *et al,* 1982; Jolivet *et al,* 1994; Kilias *et al,* 1994). Secondo Bartole *et al.* (1983) la forma dei vari bacini è il risultato di

un'azione tettonica che ha generato strutture di tipo *graben* il cui *trend* principale è orientato WNW-ESE. Oltre al sistema principale di faglie si è sviluppato un sistema secondario ortogonale, presente nelle zone relativamente elevate del settore orientale (estremità orientale di Creta, Kasos e Karpathos) e responsabile della divisione di alcuni bacini.

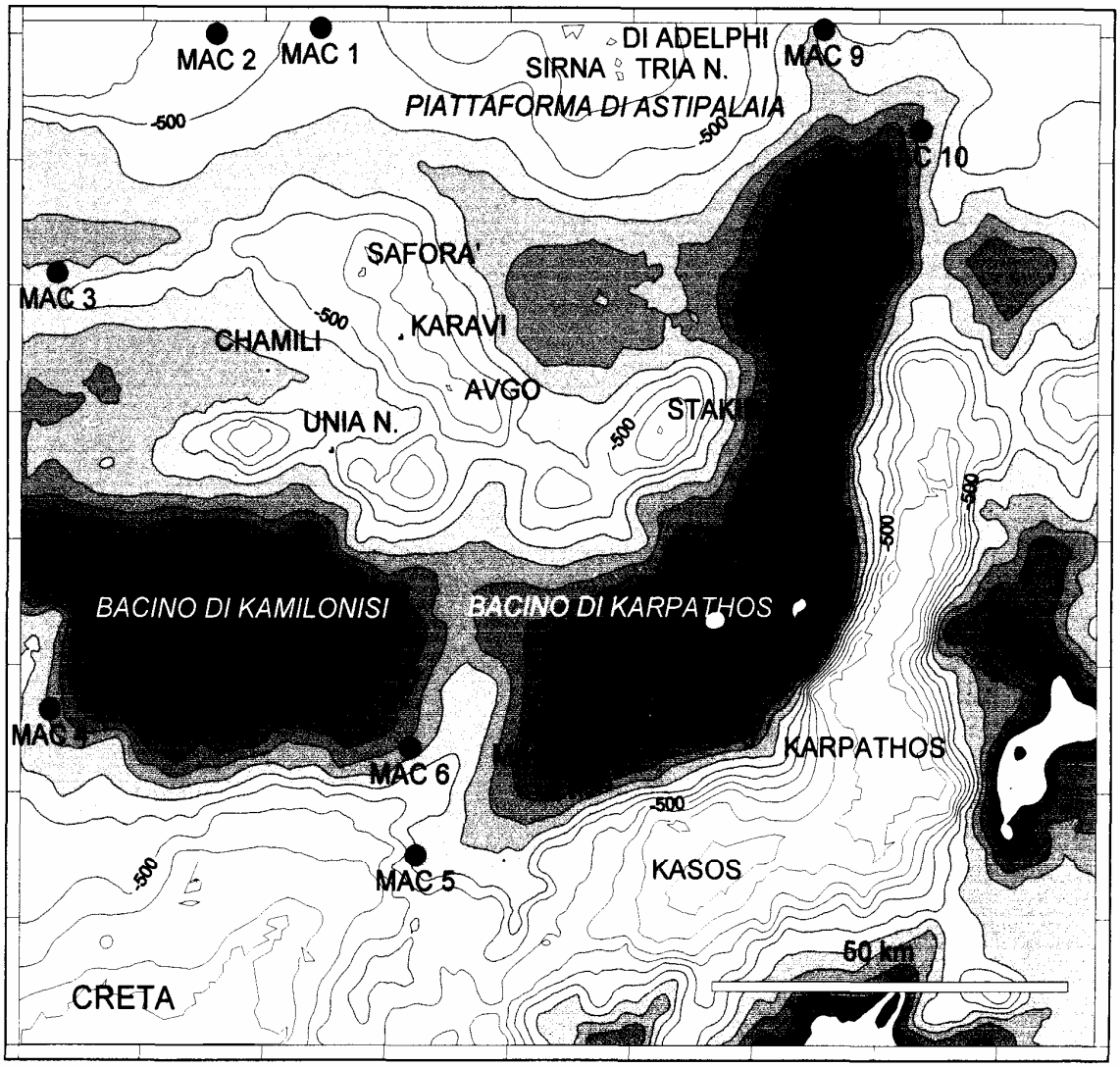


Fig. 2 - Mare Egeo sud-orientale: dettaglio dell'area di indagine con la posizione delle carote e con i nomi delle isole riportate nel testo. Profondità in metri ed equidistanza tra le isobate 200 m.

I fondali del Mare di Creta sono articolati in sei bacini maggiori, da W verso E: bacino dell'Argolide, bacino complesso di Milos, bacino W di Santorini, bacino centrale di Iraklion, bacino di Kamilonisi e bacino di Karpathos.

In particolare, il bacino di Karpathos è composto da due bacini minori limitati da ripide pareti di faglia con direzione NW-SE e NNE-SSW. Il sub-bacino meridionale contiene orizzonti sismici che indicano la presenza di evaporiti messiniane. Sia la

struttura che la morfologia generale provano che la formazione di questa fossa è avvenuta in conseguenza della fase distensiva (direzione N-S) che ha causato il *drift* verso meridione del blocco di Kasos e Karpathos.

Considerando il bacino di Creta nel suo complesso si osserva che le profondità aumentano da W verso E (la massima profondità si raggiunge nel bacino di Karpathos: 2529 m), così come le pendenze della scarpata continentale. Le scarpate che circondano il bacino differiscono marcatamente tra di loro: a largo dell'isola di Karpathos sono molto ripide e rappresentano un confine netto tra terre emerse e bacini antistanti, mentre a N di Creta e nelle vicinanze di Milos e Santorini le scarpate continentali sono ben sviluppate e rappresentano un'ampia e graduale zona di transizione dei bacini omonimi. A sud di Astipalaia ed intorno all'isola si sviluppa un'ampia zona di piattaforma (Fig. 2).

Per quanto riguarda la geologia, il settore orientale di Creta è caratterizzato da depositi neogenici, da carbonati di mare basso di età Trias-Eocene, ricoperti da flysch eocenico (coltre di Gavrovo), dal complesso metamorfico del Dikti Ori e dalla coltre fillitico-quarzidca costituita da quarziti, filladi, carbonati, metatufi e rocce metabasiche. L'isola di Kasos ed il vicino isolotto di Armathià (Aubouin & Dercourt 1970; Barrier & Angelier, 1982) sono costituite da calcari neri di età incerta (Paleozoico?-Eocene inf-medio) e da un flysch di età eocenica-oligocehica inferiore; inoltre, sono osservabili depositi sabbiosi di piattaforma, duna ed alluvioni del Quaternario recente.

Karpathos è costituita da tre unità: unità di Adro-Anginara (calcari a Rudiste, calcari a Nummuliti e flysch di età Eocene superiore-Oligocene), di Kalilimni (calcari e dolomie giurassiche, cretaciche ed oligoceniche) e di Xindothio, discordante su quella di Kalilimni (calcari e radiolariti mesozoiche con olistoliti ofiolitici pre-cretacici, Aubouin & Dercourt, 1970; Aubouin *et al,* 1976; Barrier & Angelier, 1982). Sono inoltre presenti molasse di età miocenica, pliocenica e pleistocenica, nonché depositi marini recenti ed alluvioni.

Nella parte nord-orientale dell'area in esame, anche se relativamente distanti dal bacino di Karpathos, sono presenti le isole di Halki, Alimnia e Tilos. Le rocce affioranti sono costituite da calcari neritici del Triassico sup.-Lias e da flysch maastrichtiano-paleocenico (Desio, 1931; Orombelli *et* al., 1967; Christodoulou & Tartaris, 1972; Bernoulli *et al.,* 1974). A Tilos sono visibili tufi vulcanici che rappresentano probabili depositi derivati della vicina Nisiros, la quale è quasi completamente formata da rocce vulcaniche. Altre minuscole isole, quali Sirna, Stakida, Tria Nisia, Unia Nisia, Avgo e Karavi presentano la stessa successione sedimentaria (Bernoulli *et al.*,1974).

Le isole di Anafì, Astipalaia, di Sirna ed il gruppo di Saforà (Zafrana), Karavi e Avgo sono vicine al settore nord-orientale del bacino di Iraklion, mentre Santorini, occupata in gran parte da tufi, pomici, basalti e subordinatamente da rocce metamorfiche, è relativamente più lontana. Anafi è costituita da gneiss, scisti, marmi e calcari (Melidonis, 1964), nonché da sedimenti Plio-Quaternari rappresentati da arenarie, marne e calcari marnosi e da depositi alluvionali recenti e sabbie costiere.

Astipalaia è costituita prevalentemente da calcari a Rudiste e da calcari di età paleogenica, da flysch dell'Eocene superiore (Desio, 1931) e da depositi quaternari (sabbie e calcareniti scarsamente cementate). Le isolette di Chamili, Safora e Di Adelfi presentano successioni simili a quelle di Astipalaia (Bernoulli *et al.,* 1974).

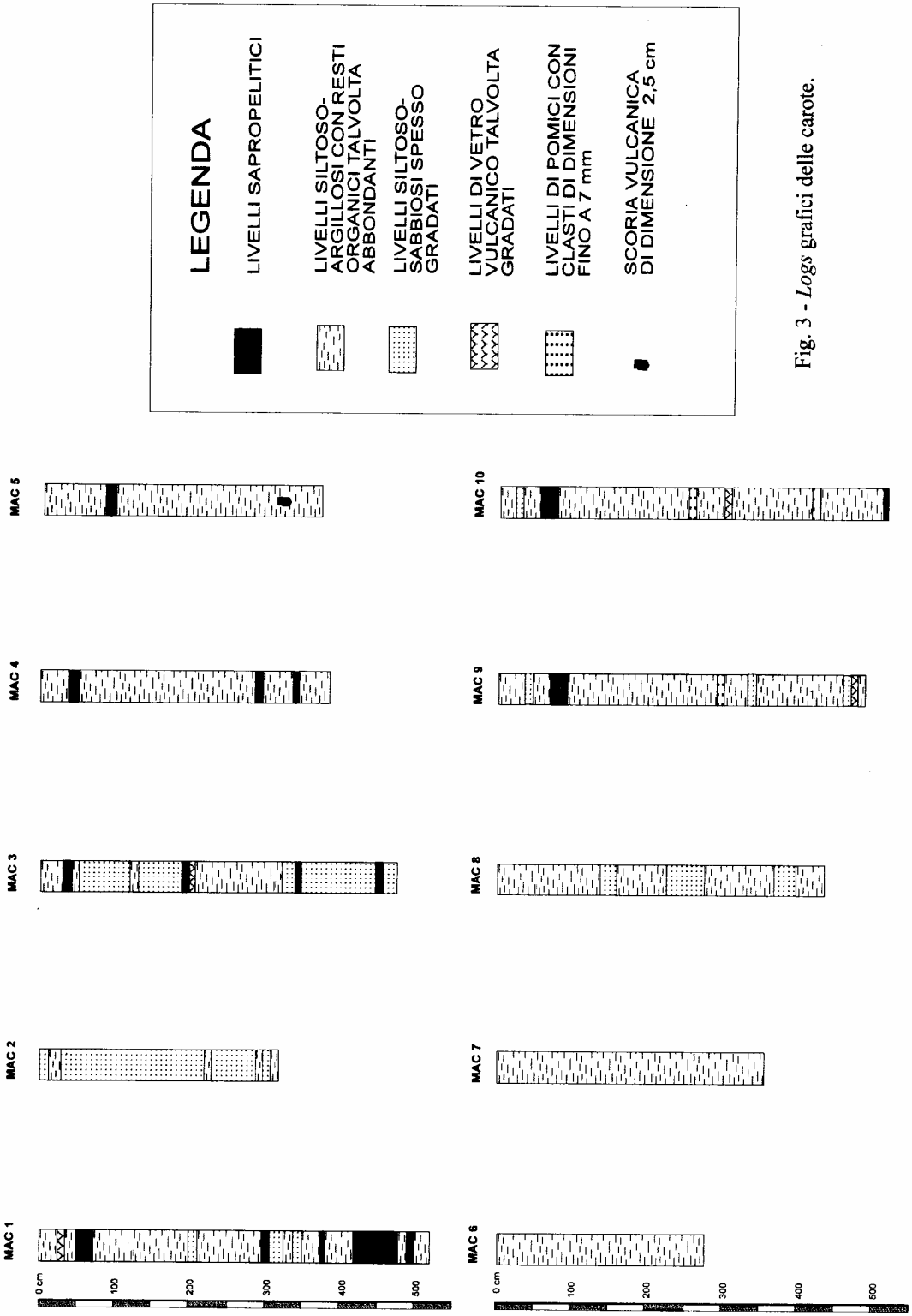


Fig. 3 - *Logs* grafici delle carote.

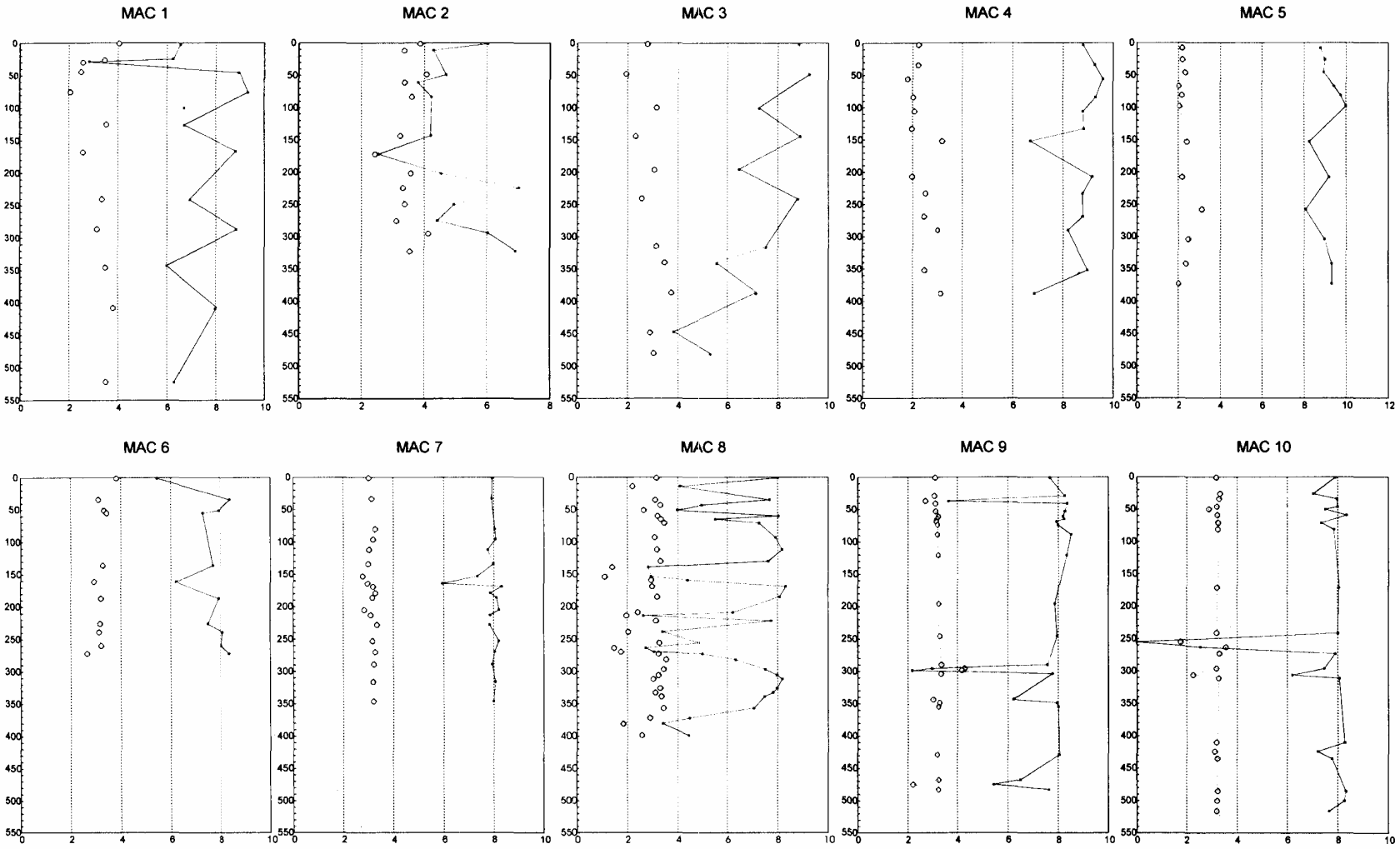


Fig. 4 - Caratteristiche granulometriche dei sedimenti nelle carote: distribuzione dei valori in phi del diametro medio (linea continua) e della classazione (linea punteggiata) in funzione della profondità (in cm)

3. ANALISI E RISULTATI

Le 10 carote esaminate sono state prelevate con carotiere a gravita a profondità comprese tra i 403 m della MAC 2 e i 2347 m della MAC 8 (Fig. 2); le loro lunghezze variano tra i 278 cm della MAC 6 ed i 523 cm della MAC 1.1 *logs* grafici schematizzati delle carote son riportati nella Fig. 3.

3.1. Analisi tessiturali

Le analisi granulometriche dei campioni delle carote sono state eseguite con setacci per la parte più grossolana e sedigrafo per la frazione pelitica; i parametri statistici adottati sono quelli di Folk & Ward (1957). I risultati, mediante i *logs* della distribuzione del diametro medio e della classazione nella carota, sono stati presentati in Fig. 4, mentre in Fig. 5 viene riportato il diagramma binario degli spessori dei livelli costituiti dai sedimenti più grossolani (silt grossolano e sabbia) e da quelli più fini (silt fine ed argilla) in ciascuna carota.

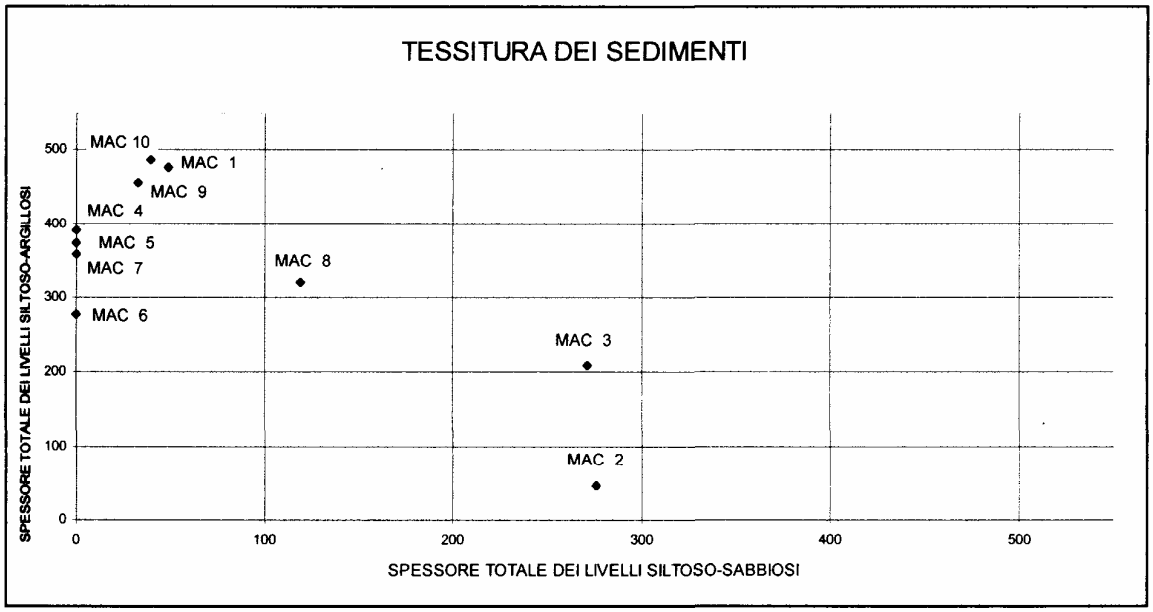


Fig. 5 Caratteristiche tessiturali dei sedimenti delle carote: rapporto tra gli spessori (cm) dei livelli più grossolani e quelli più fini.

Nella parte nord-occidentale dell'area investigata (piattaforma di Astipalaia) si osservano frequenti eventi torbiditici sotto forma di livelli sabbiosi gradati, che raggiungono anche i 200 cm di spessore (carota MAC 2). Per quanto riguarda le altre due carote di questo settore, nella carota MAC 1 in una prevalente sedimentazione siltoso-argillosa si intercalano alcuni livelli siltoso-sabbiosi gradati di modesto spessore ed un unico livello sabbioso rappresentato da materiale piroclastico vetroso; nella carota

MAC 3, invece, i sedimenti siltoso-sabbiosi costituiscono la metà della successione indagata.

Nella parte meridionale, le carote MAC 4 e MAC 6 sono state prelevate rispettivamente sul fianco occidentale ed orientale del bacino di Kamilonisi, mentre le carote MAC 5 e MAC 7 appartengono alla zona intermedia tra il suddetto bacino e quello di Karpathos. La sedimentazione predominante in queste carote è data da argille più o meno siltose, mentre sono completamente assenti gli episodi torbiditici grossolani. Nel bacino di Karpathos (sottobacino meridionale) la carota MAC 8 è caratterizzata da 3 sequenze torbiditiche sabbioso-siltose, con tenori fino a 96% di sabbia fine e media, indicative di rari, ma consistenti, apporti di materiali grossolani dalla vicina isola.

Nella parte nord-orientale, le carote MAC 9 e MAC 10 sono ubicate lungo il fianco N del sottobacino settentrionale di Karpathos. In questo settore la sedimentazione prevalente è fine, rare sono le intercalazioni di materiale sabbioso o di silt grossolano; in ambedue le carote particolarmente significativo è il livello costituito da pomici aventi dimensioni fino a 5-7 mm.

3.2. Minerali pesanti

Le analisi mineralogiche sono state effettuate sulla frazione 62-250 μm mediante separazione in liquidi pesanti; per evitare l'accumulo delle eventuali miche nelle frazioni pesanti è stato utilizzato il tetrabromoetano (densità pari a 2,95 g/cm^3). Al microscopio mineralogico sono stati identificati e contati 500 granuli di minerali immersi in liquidi con indici di rifrazione noti.

Le carote analizzate (quelle contenenti materiale con granulometria più grossolana) sono: MAC 1 (3 campioni), MAC 2 (8 campioni), MAC 3 (4 campioni), MAC 4 (1 campione), MAC 8 (11 campioni), MAC 9 (1 campione), MAC 10 (1 campione).

I minerali più diffusi sono i clinopirosseni, gli ortopirosseni e, subordinati, gli anfiboli; complessivamente queste 3 componenti raggiungono, e spesso superano, l'80%. I clinopirosseni sono rappresentati da augite titanifera, augite egirinica e diopside, gli ortopirosseni da iperstene e da subordinata enstatite, gli anfiboli da orneblenda verde e basaltica e da tremolite-actinolite. La frequente bordatura di vetro vulcanico presente nei pirosseni e nell'orneblenda basaltica dimostra che buona parte di questi sedimenti provengono da materiali piroclastici. Di contro, sono facilmente distinguibili quelli che ne sono privi, prodotti da rocce intrusive e/o metamorfiche. Di questi ultimi, per l'orneblenda, le augiti e l'enstatite si può ipotizzare una provenienza da tufi e da rocce basaltiche (probabilmente Santorini) e forse da rocce trachitiche (Nisiros ?). Per quanto riguarda, invece, il diopside e la tremolite-actinolite, presenti comunque in modeste percentuali, l'origine potrebbe essere ascrivibile a scisti, calcari cristallini più o meno metamorfosati (contattiti), diffusi specialmente ad Anafi, Astipalaia e in qualche isola minore.

Nelle carote MAC 1, MAC 2 e MAC 3 è stato osservato che nei livelli più superficiali è più abbondante il clinopirosseno, mentre in quelli più profondi aumentano i tenori di ortopirosseno. In tutte le carote i minerali metastabili predominano, con valori di norma attorno al 90%, su quelli ultrastabili del tipo zircone, tormalina, rutilo e apatite che sporadicamente raggiungono tenori massimi del 3%. Questo tipo di associazione

caratterizza sedimenti recenti e scarsamente rielaborati. I minerali ultrastabili spesso rappresentano dei ricicli di sedimenti più antichi (come rocce sedimentarie clastiche) e starebbero a dimostrare scarsissimo contributo da parte di depositi flyschoidi e molassici o dalle coltri sabbiose neogeniche che affiorano ampiamente nelle isole dell'Egeo orientale.

I risultati più significativi riguardano la carota MAC 8, in cui gli antiboli sono particolarmente abbondanti (range compreso tra il 5 e il 58%), mentre nelle altre carote non viene superato il valore del 3%; particolarmente interessante è la presenza di epidoti (tenore massimo pari al 14%) e di spinelli (picotite, con un valore massimo pari a 11,3%). Questi dati portano ad ipotizzare una provenienza dagli affioramenti dei depositi recenti delle isole di Karpathos e forse di Kasos, mentre per quanto riguarda gli epidoti e la picotite, una possibile origine potrebbe essere rappresentata dagli olistoliti ofiolitici dell'unità di Xindotio e dai sedimenti derivati. Infine, in base alla conoscenza delle successioni affioranti (specificatamente la coltre fillitico-quarzifera ed il complesso metamorfico di Dikti Ori), appare improbabile una derivazione dal settore orientale di Creta.

Complessivamente, i risultati ottenuti dall'analisi dei minerali pesanti delle carote indicano una provenienza dei sedimenti prevalentemente da rocce e depositi vulcanici, mentre subordinato è l'apporto metasedimentario, ben apprezzabile solo nella carota MAC 8. Questo sintetico inquadramento sedimentologico dell'area in esame è in accordo con quanto riportato da Saccani (1987) e da Mezzadri & Saccani (1988) per i bacini di Kamilonisi e di Karpathos.

Infine, occorre rilevare la presenza, anche molto abbondante in certi livelli, di frammenti di rocce carbonatiche dei quali purtroppo non è stato possibile precisare l'età e le relative unità a causa, soprattutto, delle dimensioni dei granuli.

3.3. Minerali argillosi

La composizione della frazione argillosa (< 2μm) delle carote è stata determinata mediante l'analisi in diffrazione rX di 106 campioni. Le analisi semiquantitative sono state eseguite mediante diffrattometro Philips 1729 (40 Kv, 20 MA, radiazione Cu Kα, filtro Ni, un solo collimatore 1°, velocità del goniometro l°/min, velocità della carta 1 cm/min), tarato sperimentalmente con standard preparati con quantità note di termini puri. I risultati, arrotondati all'unità, sono stati ottenuti utilizzando il calcolatore, con un programma basato sul criterio dell'area dei picchi proposto da Biscaye (1965).

Dal punto di vista qualitativo la composizione risulta globalmente abbastanza uniforme: le maggiori presenze sono relative a smectiti, cloriti, kaolinite, minerali a strati misti tipo illite/montmorillonite, calcite, quarzo e feldspati.

I risultati delle analisi dei minerali argillosi dei sedimenti superficiali, rappresentati in termini di distribuzione areale nella figura 6, hanno permesso le seguenti osservazioni. I tenori di illite aumentano progressivamente dalle coste orientali di Creta e da Rodi verso la parte centrale dell'area in esame, raggiungendo i valori più elevati in vicinanza dell'arco vulcanico. I dati sembrano in parte contraddire le mappe di distribuzione di Shimkus (1981), nelle quali i valori più elevati vengono segnalati in prossimità di Creta, mentre diminuiscono verso l'arco vulcanico.

Per quanto riguarda i minerali misti, questi tendenzialmente aumentano da Creta verso Rodi; i risultati confermano che l'area di indagine è posta all'interno dell'ampia provincia montmorillonitica (Emelyanov & Shimkus, 1986), caratterizzata da elevati valori del minerale che dall'area nilotica del Mare di Levante diminuiscono progressivamente verso Occidente.

La smectite aumenta gradualmente dal settore sud-occidentale verso NE, raggiungendo i valori massimi a meridione dell'isola di Nisiros. Per la clorite i valori massimi si riscontrano nella fascia centrale dell'area di indagine, con costante diminuzione tanto verso N che verso S, in buono accordo con Shimkus (1981), I valori più elevati della kaolinite sono stati osservati vicino a Karpathos e Kasos e ad W di Sirna, i valori minimi competono alla zona nord-occidentale non distante da Anafì.

Dal confronto della distribuzione areale di questi dati, relativi ai livelli più superficiali, con quella dei valori medi dei medesimi minerali (Fig. 6) risulta una corrispondenza abbastanza buona per la smectite, Pillite/montmorillonite e la kaolinite. Per quanto riguarda Pillite, invece, le medie si discostano leggermente dai valori dei primi livelli in corrispondenza del Bacino di Kamilonisi e nel settore nord-orientale; anche per la clorite questa distribuzione si differenzia da quella dei sedimenti superficiali evidenziando un incremento dei valori verso oriente.

Dal punto di vista stratigrafico si notano variazioni quantitative dei principali minerali anche sensibili all'interno delle singole carote, andamenti dovuti al fatto che gli apporti non sono costanti in termini di quantità e di provenienza ed imputabili a diversi fattori, quali variazioni di dirczione di corrente, apporto dei materiali in sospensione aerea, variazioni di temperatura, etc.

Nelle carote MAC 1, MAC 2, MAC 5 e MAC 7, nonché in misura minore nelle MAC 3, MAC 6 e MAC 8, i valori relativamente più elevati di illite si osservano nei primi 60-80 cm. Nella carota MAC 10 si osserva, invece, una notevole costanza nel contenuto di questo minerale.

La smectite presenta, in generale, un'ampia variabilità, fanno eccezione le carote MAC 6 ed, in larga parte, MAC 4. In particolare, nelle carote MAC 2, MAC 3, e MAC 7 è osservabile anche una graduale diminuzione dei valori procedendo dai livelli più superficiali a quelli più profondi.

La kaolinite si è dimostrata stratigraficamente omogenea in 8 carote: le eccezioni sono rappresentate dalle carote MAC 6 e MAC 8. I minerali misti si presentano generalmente omogenei nelle 5 carote più meridionali e nella carota MAC 9. La clorite risulta omogenea nelle carote MAC 6, MAC 7, MAC 8, MAC 9 e MAC 10; in particolare nella carota MAC 8 si raggiungono i tenori più elevati di clorite da attribuire, probabilmente, agli apporti diretti dell'isola di Karpathos.

Inoltre, si è tentata una correlazione su base mineralogica tra le vicine carote MAC 9 e MAC 10 confrontando i campioni prelevati in corrispondenza dei livelli marker significativi (Z-2, S-1, Y-2 ed Y-5). Una ottima corrispondenza dei valori è stata rilevata per quanto riguarda i minerali terrigeni, illite e clorite, e la kaolinite, mentre la smectite non è assolutamente correlabile.

Infine, per quanto riguarda l'utilizzo nelle ricostruzioni paleoclimatiche e paleoambientali dei minerali argillosi (cfr. la bibliografia in Chamley, 1989), associati

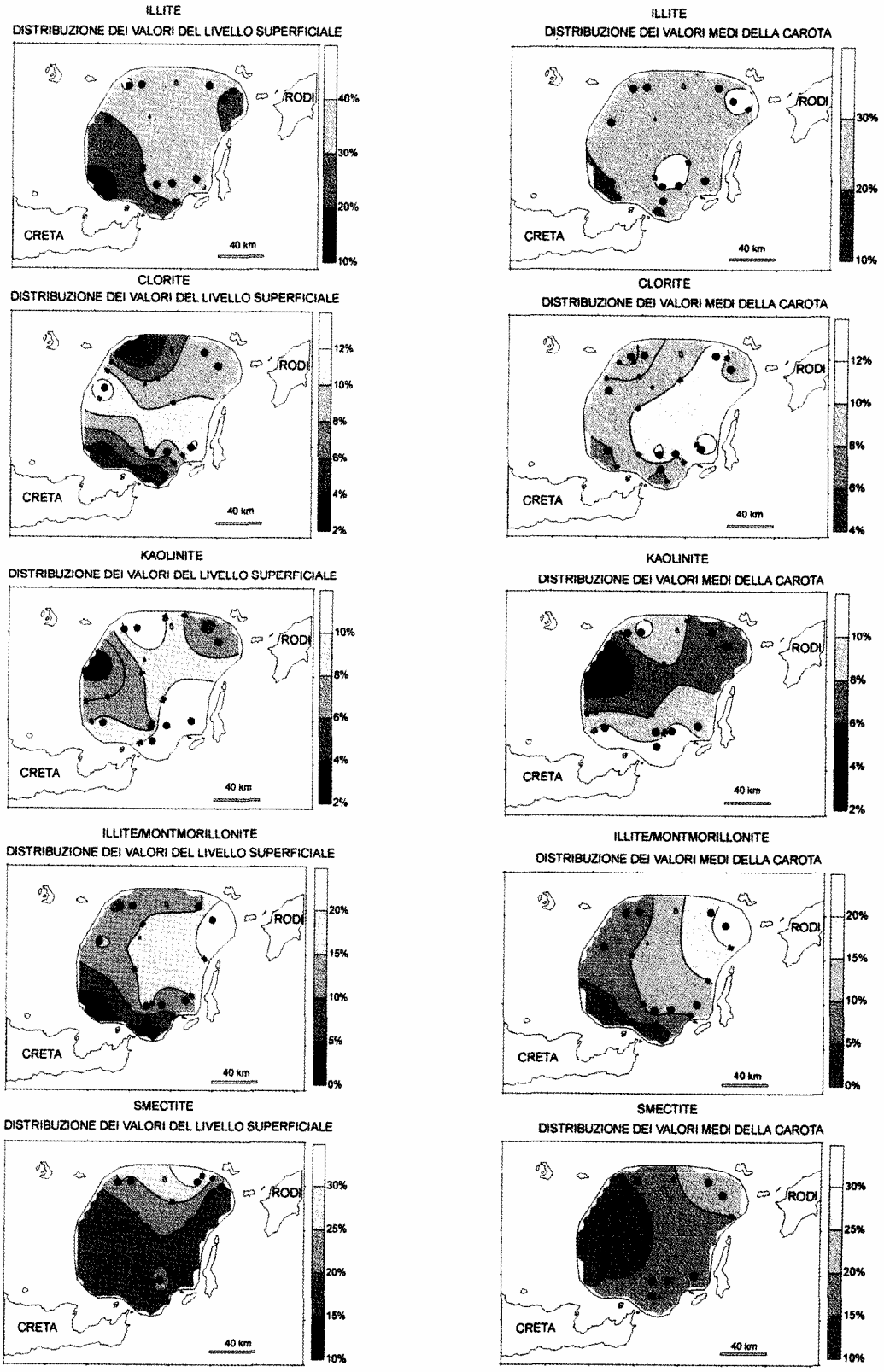


Fig. 6 - Distribuzione areale dei principali minerali argillosi presenti nel livello superficiale (a sinistra) e nell'ambito di tutta la carota (a destra).

ad altri indicatori, i dati non hanno permesso nel caso in esame di delineare alcuna ipotesi paleoclimatica per i sedimenti depostisi nell'Olocene-Pleistocene superiore.

3.4. Livelli piroclastici

Diversi livelli piroclastici sono stati rinvenuti nella parte più settentrionale della zona studiata: cinque nelle carote più orientali,, situate a nord del bacino di Karpathos (MAC 9 e MAC 10) e due in quelle occidentali (MAC 1 e MAC 3).

L'analisi degli elementi maggiori, effettuata con microsonda elettronica su frammenti di vetro non alterato di dimensioni comprese tra 62 e 150 µm, ha portato alla identificazione di questi livelli e alla loro correlazione con le eruzioni che li hanno generati.

Il livello piroclastico più superficiale delle carote MAC 1 e MAC 9 è posto tra l'orizzonte di fango ocraceo ed il primo livello sapropelitico (presumibilmente S-1). Dalla sua composizione chimica risulta che è una riodacite notevolmente omogenea, con una associazione mineralogica costituita da augite, iperstene e plagioclasio; il valore medio dell'indice di rifrazione è n = 1,509. Sulla base di questi dati può essere identificato come Z-2, livello molto frequente nei sedimenti del mare di Creta e del Mediterraneo orientale ed attribuito all'eruzione minoica di Santorini, avvenuta circa 3500 anni fa.

Un secondo livello, attribuibile all'eruzione di Capo Riva sull'isola di Santorini, avvenuta circa 18.000 anni fa (Y-2), è stato rinvenuto nelle carote MAC 9 e MAC 10 al di sotto del primo sapropel. Anche in questo caso si tratta di una riodacite, con un'associazione mineralogica analoga a quella del livello superiore Z-2.

Il livello piroclastico più profondo rinvenuto nelle carote MAC 3, MAC 9 e MAC 10 è invece costituito da clasti vetrosi di colore bruno di composizione alcali-trachitica L'associazione mineralogica associata è costituita da augite, biotite, orneblenda e plagioclasio; il valore medio dell'indice di rifrazione è n = 1,521. E' attribuibile all'eruzione dell'Ignimbrite Campana (Y-5) che ha avuto origine circa 35.000 anni fa nei Campi Flegrei. Nella carota MAC 5 posta nell'area in prossimità di Creta e Kasos, è stata rinvenuta una scoria vulcanica piritizzata, di natura andesitica, correlabile all'eruzione X-1 (80.000 anni fa) dall'arco Ellenico (Bonazzi *et al,* 1988).

Nella seguente tabella sono riportati i valori analitici medi degli elementi maggiori, senza volatili e normalizzati a 100%. Il Fe totale è stato calcolato come FeO.

Carota	**MAC 1**	**MAC 9**	**MAC 9**	**MAC 10**	**MAC 3**	**MAC 9**	**MAC 10**	**MAC 5**
prof. (cm)	25-33	35-37	293-299	253-263	206-207	472-476	301-304	317
livello	**Z-2**	**Z-2**	**Y-2**	**Y-2**	**Y-5**	**Y-5**	**Y-5**	**scoria**
SiO_2	73.45	73.37	71.41	71.15	61.05	61.44	61.58	61.46
$Ti O_2$	0.32	0.32	0.44	0.47	0.43	0.42	0.40	1.11
Al_2O_3	14.22	14.27	14.50	14.76	19.11	18.68	18.82	15.52
FeO	2.07	2.09	3.12	3.14	3.00	3.05	3.07	8.09
MnO	0.07	0.06	0.08	0.06	0.22	0.23	0.24	0.19
MgO	0.29	0.29	0.43	0.42	0.36	0.35	0.32	2.12
CaO	1.38	1.44	1.67	1.73	1.76	1.70	1.65	5.20
Na_2O	4.81	4.79	5.28	5.31	6.73	6.39	6.21	4.33
K_2O	3.39	3.37	3.06	2.96	7.34	7.73	7.71	1.99

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati mineralogici associati a quelli granulometrici consentono di definire alcune zone del Mar di Creta orientale aventi caratteristiche peculiari e ciò tenendo conto anche dei risultati delle analisi delle carote della crociera Bannock effettuata nel 1981 (Bartole *et al,* 1983).

In particolare, le carote MAC 1, MAC 2 e MAC 3, costituite in prevalenza da silt ed argille, con alcuni livelli sabbiosi gradati, risentono di apporti torbiditici provenienti dall'arco vulcanico. Le carote MAC 4 (siltoso-argillosa), MAC 5 (argilloso-siltosa), MAC 6 e MAC 7 (siltoso-argillose) riflettono condizioni di sedimentazione più tranquilla, in cui gli apporti sedimentari provenienti da Creta non sembrano importanti.

Il materiale della carota MAC 8 è da considerare come il risultato di un attivo apporto da parte di correnti di torbida dalla vicina Karpathos, favorite dalla presenza della ripida scarpata del lato orientale dell'omonimo bacino. Le carote MAC 9 e MAC 10, poste a sud delle isole di Nisiros e di Tilos, sono prevalentemente siltose, con rare torbide di bassa densità a testimonianza di una sedimentazione moderata, che comunque risente degli apporti piroclastici dall'arco vulcanico.

Per quanto riguarda la componente mineralogica delle argille, sono stati notati valori più elevati dell'illite nei primi 60-80 cm (corrispondenti grosso modo ai sedimenti olocenici) nelle carote prelevate nel settore occidentale. Tale incremento potrebbe essere legato all'aumento del livello marino verificatosi in maniera più sensibile negli ultimi 10.000 anni. Nonostante i tentativi di correlazione effettuati su base mineralogica, le argille non sembrano fornire alcun elemento probante per effettuare ricostruzioni paleoclimatiche e paleoambientali dei sedimenti depostisi nell'Olocene-Pleistocene superiore.

Il riconoscimento, eseguito sulla base di indagini al microscopio e di analisi chimiche, delle ceneri vulcaniche presenti in molte carote ha permesso di ottenere degli ottimi marker cronologici utili per determinare l'entità degli apporti nel tempo. A questi si devono aggiungere i livelli sapropelitici che, seppure non sottoposti a specifiche analisi, possono essere ragionevolmente identificati in funzione della loro profondità all'interno della carota e, soprattutto, in relazione alla loro posizione rispetto ai tephra.

Questo concetto lo si può applicare particolarmente al sapropel S-1 poiché questo, diffuso in tutto il Mediterraneo orientale e presente in 6 delle 10 carote esaminate (Fig. 3), risulta ben riconoscibile in quanto è posto normalmente a poche decine di centimetri dalla superficie, si trova al di sotto del tephra Z-2 (se presente) ed ha uno spessore decimetrico.

Sulla base dell'età dell'S-1 (7.000-9.000 anni, secondo Stanley & Maldonado, 1977), sono stati calcolati i valori, anche se indicativi, del tasso di sedimentazione negli ultimi 8.000 anni nelle carote nelle quali è stato rinvenuto. I risultati indicano che gli apporti maggiori, circa 10-11 cm/1000 anni, caratterizzano le posizioni delle carote MAC 5 e MAC 9, poste rispettivamente nella parte sud-occidentale nord-orientale dell'area. Valori decisamente inferiori (4,5 e 5,6 cm/1000 anni) sono stati verificati nelle due carote più occidentali MAC 3 e MAC 4.

Le caratteristiche dei tassi di sedimentazione di questi bacini in tempi più antichi sono state valutate utilizzando i marker relativi ai tephra Y-2 (18.000 anni) e Y-5 (34.000 anni); purtroppo ambedue sono stati rinvenuti solamente nelle carote MAC 9 e MAC 10, mentre nella MAC 3 è presente il solo Y-5.

Nelle prime due carote è particolarmente evidente una diminuzione degli apporti nel periodo successivo alla deposizione del sapropel S-1 (8-10 cm/1000 anni circa), rispetto a quelli relativi all'intervallo Y-2 S-1 di 18.000-8000 anni fa (19-21 cm/1000 anni circa).

La minore alimentazione attuale è comprovata anche nella carota MAC 3 dal confronto tra i tassi di sedimentazione 0-8.000 e 8.000-34.000 anni pari, rispettivamente, a 4,5 e 6,5 cm/1000 anni.

Questa tendenza del quadro sedimentario (verificata anche in altre carote del Mare di Creta orientale) può essere condizionata dalle variazioni del livello marino nel periodo considerato, per cui alle condizioni di basso eustatico esistenti nella zona 18.000 anni fa, con accentuati fenomeni di erosione delle terre emerse, è succeduta una fase caratterizzata da un innalzamento del mare (particolarmente marcato negli ultimi 10.000 anni) tuttora in atto e, quindi, da una minore produzione di sedimenti.

BIBLIOGRAFIA

Angelier J., Lyberis N., Le Pichon X., Barrier E. & Huchon P. 1982. The tectonic development of the Hellenic are and the Sea of Crete: a synthesis. *Tectonophysics,* 86: 159-196.

Aubouin J. & Dercourt J. 1970. Sur la geologie de l'Egèe: regard sur le Dodecanèse méridional (Kassos, Karpathos, Rhodes). *Bull. Soc. Géol. Fr.,* 7, II: 455-472.

Aubouin J., Bonneau M. & Davidson J. 1976. Contribution a la géologie de l'are égéen: l'île de Karpathos. *Bull. Soc. Géol. Fr.,* 7, XVIII, 2: 385-401.

Barrier E. & Angelier J. 1982. Structure et déformation d'un segment de l'arc hellénic externe: les iles de Kasos et Karpathos. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.,* 23(4): 257-276.

Bartole R., Catani G., Lenardon G. & Vinci A. 1983. Tectonics and sedimentation of the Southern Aegean Sea. *Boll. Ocean. Teor. Appl,* 1,4: 319-340.

Bernoulli D., De Gracianski P.C. & Monod O. 1974. The extension of the Lycian Nappes (SW-Turkey) into the Southeastern Aegean Islands. *Eclog. geol, Helv.,* 67: 39-90.

Biscaye P.E. 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Géol. Soc. Am. Bull.,* 76: 803-832.

Bonazzi A., Catani G. & Vinci A. 1988. Pyritized scoria in the sediments of southern Aegean Sea. *Boll. Ocean. Teor. Appi,* VI, 4: 261-269.

Chamley H. 1989. Clay sedimentology. *Springer Verlag:* 623 pp.

Christodoulou G. & Tataris A. 1972. On the geological Structure of the Tilos island (Dodecanesus). *Bull. Géol. Soc. Greece,* 9: 28-80.

Desio A. 1931. Le isole italiane dell'Egeo. *Mem. descr. Carta geol. Ital,* 24, 534 pp.

Emelyanov E.M. & Shimkus K.M. 1986. Geochemistry and sedimentology of the Mediterranean Sea. *Reidel Publishing Company:* 553 pp.

Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sedim. Petrol,* 27, 1: 3-26.

Jackson J.A. & Mc Kenzie D. 1988. The relationship between plate motion and seismic moment tensors, and the rate of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysics Journal,* 93: 45-73.

Jolivet L., Brun J.P., Gautier P., Lallemant S. & Patriat M. 1994. 3D-kinematics of extension in the Aegean Region from the Early Miocene to the present, insights from the duttile crust. *Bull. Soc. Géol. France,,* 3: 195-209.

Jongsma D., Wissman G., Hinz F. & Garde S. 1977. Seismic studies in the Cretan Sea. The Southern Aegean Sea: an extensional marginal basin without sea floor spreading? *Meteor. Forschungsergeb. Geol. Geophys.* C, 27: 3-30.

Keller J., Ryan W.B.F., Ninkovich D. & Altherr R. 1978. Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200,000 yr as recorded in deep-sea sediments. *Geol. Soc. Am. Bull,* 89: 591-604.

Kilias A., Fassoulas C. & Mountrakis D. 1994. Tertiary extension of Continental crust and uplift of Psilorithis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic Are (Crete, Greece). *Geol. Rundsch.,* 83: 417-430.

Lyberis N. 1984 Géodynamique du domaine égéen depuis le Miocène Supérieur. *Thése Doct. Etat,* Univ. Paris VI.

Makris J. 1978. The crust and upper mantle of the Aegean region from deep seismic sonding. *Tectonophysics,* 46: 269-284.

Mascle J., Le Cleac'h A. & Jongsma D. 1986. The Eastern Hellenic margin from Crete to Rhodes: example of progressive collision. *Marine Geology,* 73: 145-168.

Mascle J., Le Quellec P., Leite O. & Jongsma D. 1982. Structural sketch of the Hellenic continental margin between the western Peloponnesus and eastern Crete. *Geology,* 10: 113-116.

Mascle J. & Martin L. 1990. Shallow structure and recent evolution of the Aegean sea: a synthesis based on continuous refraction profiles. *Marine Geology,* 94: 271-299.

Mc Kenzie D. 1978. Active tectonics of the Alpine Himalayan belt: the Aegean Sea and surroundig regions (tectonics of the Aegean region). *Geophys. J. R. Astron. Soc. London,* 55(1): 217-254.

Melidonis N.G. 1964. The geology of Anafi island. *Inst. Geol. Min. Explor. Greece:* 307 pp.

Mezzadri G. & Saccani E. 1988. Mineralogy of Quaternary sand-size sediments from the Sea of Crete: implication for provenance variability in active continental margins. *Rapp. Comm. Int. Medit,* 31° CIESM, Atene, 31, 2: 82.

Orombelli G., Lozej G.P. & Rossi L.A. 1967. Preliminary notes on the geology of the Datca Peninsula (SW - Turkey). *Rena. Acad. Naz. Lincei,* 8, 42: 830-841.

Papadopoulos G.A., Kondopoulou D.P., Leventakis G.A. & Pavlides S.B. 1986. Seismotectonics of the Aegean region. *Tectonophysics,* 124: 67-84.

Ratayev M.A., Shimkus K.M. & Kheirov M.B. 1981. Distribution of clay minerals in recent sediments of the mediterranean sea. *Oceanology,* 21, 4: 475-478.

Rossi S., Catani G., Ergun M., Ferentinos G., Gasperini L., Got H., Lenardon G., Macridou T., Martin L., Ori C., Palumbo V., Papatheodorou G., Taviani M., Tunis G. & Vinci A. 1986. Mare di Creta e bacino di Antalya: entrambe sono zone di retroarco? Obiettivi e risultati preliminari della crociera Mac Gan. *Rend. Soc. Geol. It*.,9: 11-14.

Saccani E. 1987. Double provenance of sand-size sediments in the southern Aegean forearc basin. *Jour. Sed. Petr.,* 57, 4: 736-745.

Stanley D.J. & Maldonado A. 1977. Nile cone late Quaternary stratigraphy and sediment dispersal. *Nature,* 266: 129-135.

Shimkus K.M. (1981) Sedimentation of the Mediterranean Sea during Late Quaternary time. *M. Nauka:* 240 pp.

Vinci A. 1985. Distribution and chemical composition of tephra layers from eastern mediterranean abyssal sediments. *Marine Geology,* 64:143-155.

Vinci A. 1987. The "Cape Riva Tephra Layer" Y-2 (Santorini Volcano) in deep-sea sediments from Eastern Mediterranean Sea. *Boll. Ocean. Teor. Appl., V, 2:* 117-123.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997 Piccazzo M. (ed.): 407 - 413

ANDAMENTO DELLA DINOFICEA TOSSICA *PHALACROMA ROTUNDATUM* (CLAPARÈDE & LACHMANN) KOFOID & MICHENER LUNGO LE COSTE PUGLIESI

Carmela CAROPPO[1], Elena BUZZELLI[2], Milena BRUNO[2], Michele PASTORE[3]

[1] Istituto per lo Studio degli Ecosistemi Costieri, C. N. R., Lesina (Foggia)
[2] Laboratorio di Igiene Ambientale, Istituto Superiore di Sanità, Roma
[3] Istituto Sperimentale Talassografico "A. Cerniti", C. N. R., Taranto

RIASSUNTO

Il genere *Dlnophysis* è frequentemente implicato in episodi di contaminazione di molluschi con tossine DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning). La specie *Dinophysis rotundata* Claparède & Lachmann, recentemente rinominata *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & Michener per il metabolismo eterotrofo che la avvicina al genere *Phalacroma,* è stata confermata produttrice di acido okadaico. L'andamento di questa specie è stato studiato nel corso di un anno di crociere lungo le coste meridionali adriatiche della Puglia, in relazione alla biomassa algale, ai nutrienti primari ed alla temperatura. In queste acque a carattere prevalentemente oligotrofo, l'alga risulta uniformemente distribuita in basse quantità in tutte le stazioni e le profondità esaminate, con livelli invernali leggermente superiori a quelli estivi.

ABSTRACT

The genus *Dinophysis* is often responsible of mussel contaminations with DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning) toxins. The species *Dinophysis rotundata* Claparède & Lachmann, recently re-called *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & Michener for its heterotrophic metabolism similar to that of genus *Phalacroma,* is known to be a producer of okadaic acid. The population dynamics of this species have been studied during a year of cruises along the southern Adriatic coast of Apulian, related to alga! biomass, primary nutrients and temperature. In these waters with marked oligotrophy, this alga is generally present in low quantities, in all the stations and dephts examined, with winter quantities slightly higher than the summer ones.

1. INTRODUZIONE

L'aumento dei livelli trofici e della biomassa algale rilevato nelle acque costiere di molti paesi del mondo ed i conseguenti cambiamenti della struttura delle comunità fitoplanctoniche e nella distribuzione delle specie, hanno portato gli ecosistemi marini verso condizioni ambientali meno equilibrate, e verso più alte incidenze di fioriture algali tossiche, con conseguenti rischi sanitari ed ambientali.

Nel 1989 si è verificata in Italia la prima epidemia di casi di DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning) lungo le coste Centro-Settentrionali del Mar Adriatico (Boni *et al.,* 1992). Da allora episodi di contaminazioni di molluschi da dinofisitossine si verificano quasi ogni anno in estate, causando seri rischi sanitari e conseguenze economiche negative per l'allevamento dei molluschi.

L'aumentata frequenza di casi di DSP lungo le coste italiane ha indotto le autorità sanitarie a promuovere programmi di monitoraggio sull'eutrofizzazione e sul fitoplancton potenzialmente tossico.

Il genere *Dinophysis* è risultato essere, nelle nostre acque, il maggiore responsabile di contaminazioni di bivalvi: molte specie di questo genere hanno una produzione di dinofisitossine dimostrata in laboratorio, e questo porta a ritenere che queste biotossine siano caratteristiche di tutto il genere nel suo complesso, sia pure in gradi differenti.

L'instaurarsi di fioriture di specie del genere *Dinophysis* è stato attribuito da alcuni al ruolo giocato da fattori fisici come temperatura e maree, piuttosto che alla presenza di nutrienti, anche organici (Delmas *et al,*. 1992).

La specie *Dinophysis rotundata* Claparède & Lachmann, recentemente rinominata *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & Michener per il metabolismo eterotrofo che la avvicina al genere *Phalacroma,* è stata confermata produttrice dì acido okadaico (mediamente circa 124 pg $cell^{-1}$), ed in lieve misura anche di DTX-2 (0,14 pg $cell^{-1}$) (Bianco *et al,*. 1995). La specie presenta anche una produzione di DTX-1, stimata nella misura di 101 pg $cell^{-1}$ (Lee *et al*., 1989).

L'andamento quantitativo di questa specie è stato studiato nel corso di un anno di crociere, a partire da Aprile 1995, lungo le coste meridionali adriatiche della Puglia, in relazione alla biomassa algale, ai nutrienti primari ed alla temperatura.

2. MATERIALI E METODI

I campionamenti sono stati condotti con periodicità mensile (da Aprile 1995 a Marzo '96) in quattro stazioni dislocate lungo quattro transetti del Mar Adriatico meridionale: Brindisi, S. Cataldo (Lecce), Otranto e S. Maria di Leuca. I campioni sono stati prelevati a quattro quote diverse (O, 5, 10 e 50 m), utilizzando una bottiglia di tipo Niskin della capacità di 5 litri. Temperatura, pH, salinità e ossigeno disciolto sono stati rilevati *in situ* mediante una sonda multiparametrica del tipo IDRONAUT OCEAN SEVEN 501. La trasparenza è stata determinata utilizzando il disco Secchi

Le analisi dei nutrienti ($N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, $P\text{-}PO_4$, $Si\text{-}SiO_2$) sono state realizzate seguendo le metodiche di Hansen & Grasshoff (1983), mentre per le analisi della clorofilla *a* sono state utilizzate le metodiche di Strickland & Parsons (1968).

I campioni per l'analisi del fitoplancton, appena raccolti, sono stati immediatamente fissati con una soluzione iodata di ioduro di potassio (LUGOL), quindi esaminati al microscopio rovesciato mod. Labovert FS LEITZ, utilizzando il metodo descritto da Utermöhl (1958). Per la determinazione degli individui appartenenti al genere *Phalacroma* si è proceduto esaminando l'intera camera di sedimentazione.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Le caratteristiche termiche e aline dei quattro transetti esaminati appaiono tipiche della fascia costiera del Basso Adriatico: l'andamento della salinità risulta fortemente dipendente dal regime idrodinamico, dato dallo scambio delle masse d'acqua attraverso il Canale d'Otranto e dalla presenza nella zona costiera di acque provenienti dal Bacino Centrale e defluenti verso sud (Fonda Umani *et al.,* 1992). In particolare sono stati osservati minimi invernali intorno a 10 °C (Febbraio 1996) e massimi estivi superiori a 26 °C (Agosto 1995). La salinità è compresa in un campo di variazione di 36 e 38,9 ‰ (Fiocca *et al.*,1996). La concentrazione di nutrienti osservata è generalmente modesta con valori di $N\text{-}NH_4$ compresi tra 0,005 e 1,79 $\mu g\ l^{-1}$, di $N\text{-}NO_2$ mediamente compresi tra 0,001 e 1,8 $\mu g\ l^{-1}$, di $P\text{-}PO_4 < 0{,}1\ \mu g\ l^{-1}$ e di $Si(OH)_4$ compresi fra 0,56 e 9,7 $\mu g\ l^{-1}$ Molto variabile in rapporto al periodo ed alle singole stazioni e profondità è risultata la concentrazione di $N\text{-}NO_3$ con minimi di 0,04 e massimi di 8,8 $\mu g\ l^{-1}$ riscontrati a Brindisi (Tab. 1).

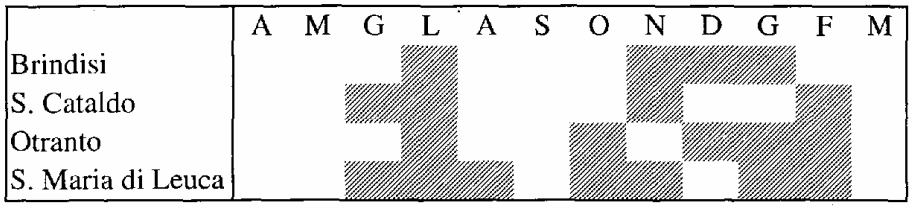
Tab.1 - Valori medi con relative deviazioni standard, minimi e massimi dei principali fattori chimico-fisici rinvenuti nei quattro transetti indagati

	T °C	S ‰	O_2 ml l^{-1}	pH	$N\text{-}NH_4^+$ µg l^{-1}	$N\text{-}NO_2^-$ µg l^{-1}	$N\text{-}NO_3^-$ µg l^{-1}	$P\text{-}PO_4^{3-}$ µg l^{-1}	$Si\text{-}SiO_4^{2-}$ µg l^{-1}	Chl*a* µg l^{-1}
Brindisi										
media	17,52	37,49	5,91	8,07	0,236	0,362	2,032	0,056	1,963	0,475
d.s.	5,62	0,48	0,48	0,22	0,224	0,303	1,970	0,030	1,726	0,308
min	9,70	36,87	5,11	7,16	0,009	0,021	0,173	0,005	0,558	0,010
max	26,81	38,42	7,56	8,44	1,135	0,999	8,839	0,154	9,690	1,839
S. Cataldo (Lecce)										
media	15,72	37,55	6,21	8,07	0,186	0,409	1,633	0,145	2,215	0,372
d.s.	4,89	0,68	0,65	0,20	0,167	0,379	1,276	0,161	1,448	0,313
min	9,88	36,12	5,15	7,01	0,019	0,010	0,039	0,005	0,645	0,010
max	26,91	38,40	8,76	8,34	1,011	1,412	5,381	0,593	7,490	1,800
Otranto										
media	16,64	37,58	6,39	8,16	0,308	0,416	2,210	0,069	2,284	0,456
d.s.	4,98	0,62	0,64	0,15	0,329	0,477	1,717	0,051	1,427	0,343
min	10,18	35,98	5,30	7,58	0,006	0,001	0,071	0,005	0,627	0,020
max	26,51	38,60	8,22	8,36	1,786	1,782	7,803	0,300	8,856	1,750
S. Maria di Leuca										
media	15,95	37,78	6,34	8,07	0,230	0,368	2,135	0,037	2,735	0,274
d.s.	4,36	0,59	0,71	0,18	0,264	0,400	1,524	0,034	1,927	0,251
min	9,50	36,47	5,25	7,55	0,005	0,004	0,299	0,005	0,930	0,010
max	26,13	38,85	8,66	8,37	1,139	1,398	7,166	0,230	8,932	2,090

La concentrazione della biomassa fitoplanctonica non raggiunge, nel corso dell'anno, anche nella fascia strettamente costiera (500 m dalla riva), i valori normalmente associati alla fenomenologia eutrofica e segnalati nei bacini Centrale e Settentrionale adriatici. Considerando i valori rinvenuti nei quattro transetti indagati si osserva che essi oscillano mediamente fra 0,01 e 2,09 µg l^{-1} Chl *a* durante tutto l'anno di osservazione.

La presenza di *Phalacroma rotundatum* è stata riscontrata nei diversi transetti di Brindisi, S. Cataldo, Otranto e S. Maria di Leuca in concentrazioni non molto elevate, come evidenziato nella Fig. 1. Dall'analisi dei dati emerge che le concentrazioni oscillano da un minimo di 160 celi 1 ' nel mese di Luglio (S. Cataldo e Otranto) ad un massimo di 730 $cell^{-1}$ in Giugno (S. Cataldo), Dicembre e Febbraio (Otranto). In particolare nei transetti di Brindisi e S. Maria di Leuca le concentrazioni sono state sempre inferiori a 400 $cell^{-1}$, mentre nei restanti transetti sono stati osservati i massimi per questa specie.

Dal punto di vista temporale *Phalacroma rotundatum* ha avuto una distribuzione piuttosto ampia, risultando presente in quasi tutte le stagioni, con livelli invernali leggermente superiori a quelli estivi e con una apparente assenza nel periodo primaverile ed in Settembre, come evidenziato nell'andamento sotto riportato.



In particolare i transetti in cui la specie è stata rinvenuta più frequentemente sono stati quelli di S. Maria di Leuca ed Otranto.

Fattori quali la distanza dalla costa e la profondità non sembrano essere discriminanti per la distribuzione della specie che è risultata presente in tutte le stazioni e profondità indagate.

Per stabilire una eventuale correlazione tra l'andamento di questa specie ed i fattori chimico-fisici determinati nel corso dell'indagine, sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra numero di cellule di *Phalacroma rotundatum* ed i fattori chimico-fisici considerati (temperatura, salinità, ossigeno, pH, $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_2^-$, $N\text{-}NO_3^-$, $P\text{-}PO_4^{3-}$, $Si\text{-}SiO_4^{2-}$ e Chl *a*); tuttavia non sono stati evidenziati valori significativi di correlazione.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Phalacroma rotundatum è stata già rinvenuta in Italia nel Golfo di Trieste in Ottobre del 1989 e da Ottobre a Dicembre del 1992 (Sedmak & Fanuko, 1991; Sidari *et al.,* 1995), e lungo le coste della Calabria in Novembre del 1990 e nei mesi di Marzo e Novembre del 1991 (Giacobbe *et al.,* 1993).

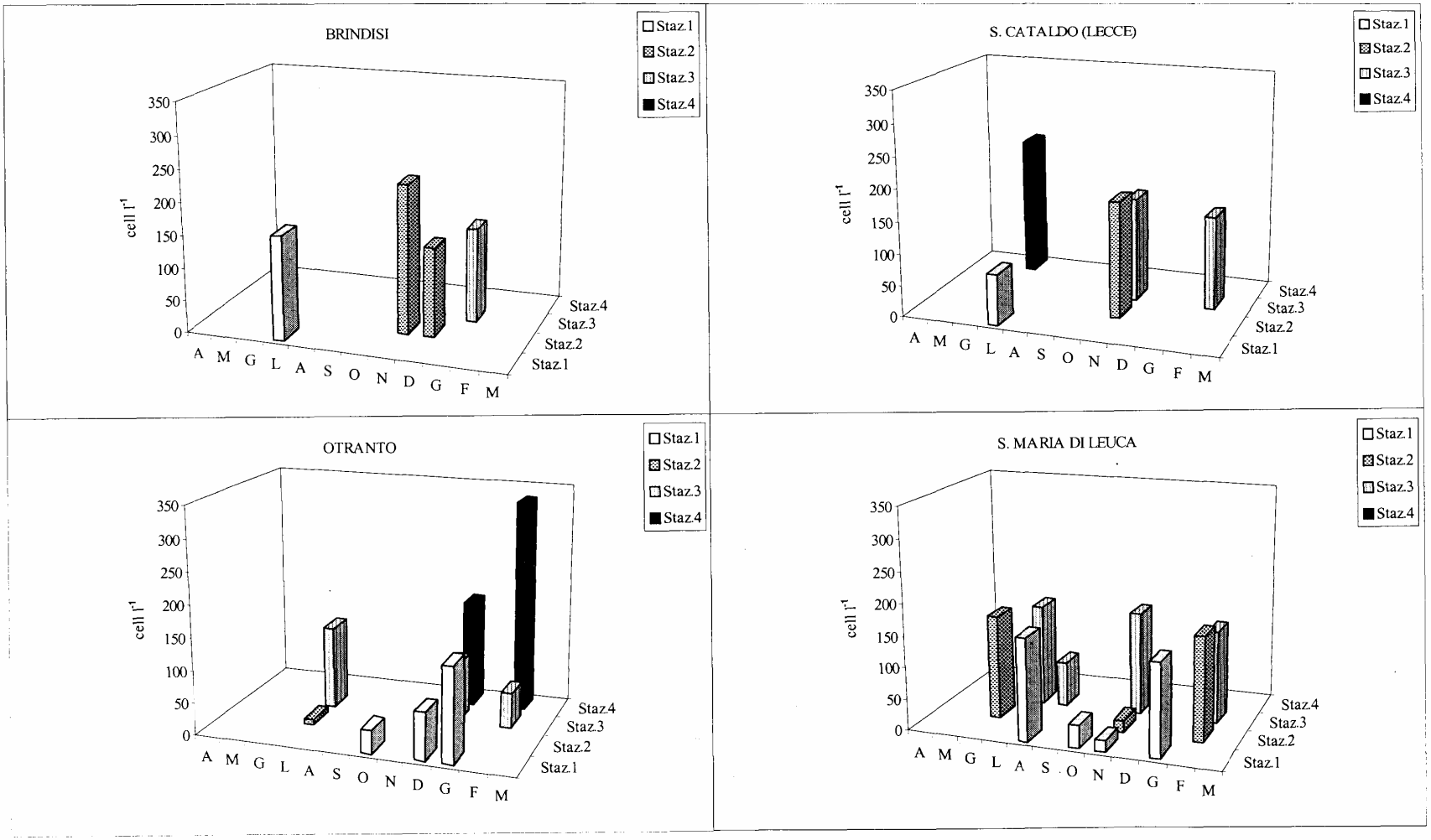


Fig.1 - Andamento annuale della densità media ponderata (cell l^{-1}) di *Phalacroma rotundatum* nelle quattro stazioni dei transetti dislocati nell'Adriatico meridionale.

L'andamento della specie riscontrato nell'Adriatico meridionale mostra una relativa indipendenza della temperatura media, che consente lievi "fioriture" anche in Dicembre e Febbraio (Otranto). Questo dato peraltro trova conferma nella distribuzione annuale continua riscontrata nel Golfo di Trieste.

La maggiore frequenza di rilevazioni nei transetti di S. Maria di Leuca ed Otranto, più interessati dagli scambi idrodinamici e nutrizionali del Flusso Levantino Intermedio (L.I.W.) suggerisce la possibilità che queste acque contengano in maggior quantità elementi favorenti il metabolismo eterotrofo della specie o quello delle sue eventuali prede (Fiocca *et al.,* 1996).

Le analisi statistiche effettuate non hanno evidenziato correlazioni significative tra nessun fattore specifico ed il numero delle cellule della specie, ma non può essere escluso il concorso di fattori multipli nelle fioriture dei popolamenti. Le ulteriori ricerche in corso potranno chiarire meglio le ragioni delle preferenze territoriali della specie ed il ruolo sinergico dei fattori ambientali che operano in questo tratto di Adriatico.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. G. Magazzù per aver fornito i dati relativi alle concentrazioni dei nutrienti determinate nel Laboratorio di Idrobiologia dell'Università di Lecce e il Dr. N. Cardellicchio per quelle relative alla clorofilla, determinate presso l'Istituto Sperimentale Talassografico del CNR di Taranto

BIBLIOGRAFIA

Blanco J., Fernandez M., Marino J., Reguera B., Miguez A., Maneiro J., Cacho E. & Martinez A. 1995. From *Dinophysis* spp. toxicity to DSP outbreaks: a preliminary model of toxin accumulation in mussels. In: Harmful Marine Algal blooms (Lassus P., Arzul G., Erard E., Gentien P. & Marcaillon C. eds.). Technique et documentation. Lavoisier, Intercept LTD: 777-782.

Boni L., Mancini L., Milandri A., Poletti R., Pompei M. & Viviani R. 1992. First cases of diarrhoetic shellfish poisoning in the Northern Adriatic Sea. In: Marine Coastal Eutrophication (Vollenweider R. A., Marchetti R. & Viviani R. eds.). Elsevier, Amsterdam: 419-426.

Caroppo C., Cardellicchio N., Mele S., Bruno M. & Magazzù G. 1996. Phytoplankton biomass and composition along the Adriatic coast of Salente (Southern Italy). Atti II Congresso Nazionale Chimica Ambientale, Rimini, 18-20 Settembre 1996.

Delmas D., Herbland A. & Maestrini S.Y. 1992. Environmental conditions which lead to increase in cell density of the toxic dinoflagellates *Dinophysis* spp. in nutrient-rich and nutrient-poor waters of the French Atlantic coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 89 :53-61.

Fiocca A., Sambati A., Sammarco P., Marra P. & Magazzù G. 1996. Monitoraggio delle condizioni ambientali delle coste adriatiche del Salente, 1995-'96. Parametri chimico-fisici e sali nutritivi. Atti U Congresso Nazionale Chimica Ambientale, Rimini, 18-20 Settembre 1996.

Fonda Umani S., Franco P., Ghirardelli E. & Malej A. 1992. Outline of oceanography and the plankton of the Adriatic Sea. In: Marine Eutrophication and Population Dynamics (G. Colombo, I. Ferrari, V. U. Ceccherelli & R. Rossi eds.), Olsen & Olsen, Fredensborg: 347-365.

Giacobbe M.G., Greco S. & Maimone G. 1993. Distribuzione di dinoflagellate potenzialmente tossiche o dannose nelle acque calabresi. *Biol. Mar. suppl. S.I.B.M.,* 1:49-53.

Hansen H.P. & Grasshoff K. 1983. Automated chemical analysis. In: Methods of sea water analysis. (Grasshoff K., Ehrardt M. & Kremling K. eds.). Verlag Chemie, Weinheim: 347-395.

Lee J.S., Igarashi T., Fraga S., Dahl E., Hovgaard P. & Yasumoto T. 1989. Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species. *J. Appl. Phycol.,* 1: 147-152.

Sedmak B. & Fanuko N. 1991. Occurrence of *Dinophysis* spp. and toxic shellfish in the Northern Adriatic. *J. Appl Phycol.,* 3: 289-294.

Sidari L., Cok S., Cabrini M., Tubaro A. & Honsell G. 1995. Temporal distribution of toxic phytoplankton in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) in 1991 and 1992. In: Harmful Marine Algal Blooms. (Lassus P., Arzul G., Erard E., Gentien P. & Marcaillou C. eds.) Technique et documentation. Lavoisier, Intercept Ltd 1995: 231-236.

Strickland J.D.H. & Parsons T.R. 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.,* 167: 1-312.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int.Ver. Theor. Angew. Limnol., 9:* 1-38.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 415 - 425

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ASPECTS OF A MARINE SOFT BOTTOM COMMUNITY

Anna Maria DE BIASI, Marina PULCINI, Claudia VIRNO LAMBERTI, Stefano DE RANIERI

Centro Interuniversitario di Biologia Marina, P.le Mascagni n. 1, 57100 - Livorno

RIASSUNTO

E' stata studiata una comunità di fondi mobili antistante Viareggio (mar Ligure) per comprenderne il livello di organizzazione, utilizzando come descrittori la bionomia, i parametri strutturali e le caratteristiche trofiche.

La struttura trofica è stata analizzata utilizzando sia l'abbondanza sia la biomassa per valutare il tipo di informazione aggiuntiva che quest'ultima può fornire a seconda del livello di organizzazione raggiunto dalla comunità.

Inoltre l'utilizzo dell'analisi multivariata ha consentito di identificare tre clusters con caratteristiche bionomiche, trofiche e di biomassa differenti. Viene discussa la loro distribuzione lungo il gradiente batimetrico.

1. INTRODUCTION

Investigation on marine benthos must be initially concerned with the species and communities in the various habitats, their density and distribution; usually the first step in an ecological systems-approach is the compilation of an adequate census along with the gathering of as much data from the System as possible (Fedra *et al.,* 1976).

In the French school, the concept of biocoenosis (Pérès & Picard, 1964) has been developed as basic element to describe the biological community in a given area, to analyse the associations of the species in the community, without considering the structural and functional aspects that link the species themselves.

The first approach to the study of the structural aspects in macrobenthic communities has been made by the Sovietic school (Turpaeva, 1953 and 1957; Sokolova, 1956 and 1959). Other authors have studied the structure of a marine community with reference to functional parameters, using either single taxonomic describers (taxocenosis), as polychaetes (Bianchi & Morri, 1985, Gambi & Giangrande, 1985) and molluscs (Russo & Fresi, 1984) or considering the whole faunistic system in the attempt to show a correspondence among structural, coenotic and functional complexity (Sanders, I960, Gray, 1974, San vincente-Añorve *et al.,* 1996).

The analysis of trophic groups, considering types and ways adopted by the various species to use environmental resources, gives a functional view of the system (Lastra *et al.,* 1991 ; Gravina *et al.,* 1995).

Basic calculated measures of community structure include: the number of species, the abundance, the wet weight biomass and in particular the Shannon-Wiener Index (H') as representative and sinthetic index (Maurer *et al.,* 1995, Gee & Warwick, 1996; Sanvincente-Añorve *et al.,* 1996).

Besides, one of the major synecological question in studying benthic communities is how far functional aspects are consistent with structural ones and if the trophic adaptations of organisms can be a response to the variation of different environmental conditions (Cocito *et al.,* 1990).

This synecological point of view has been used in the present study considering at the same lime the bionomic-faunistic, structural and functional aspects; the aim is to gain a better understanding of the organization level of a marine soft bottom community Furthermore, this study analyses the trophic structure, using abundance and biomass as describers, in order to evaluate the type of additional information the last parameter can give, according to the organization level of the community at issue.

Multivariate methods such as ordination and classification were employed in order to assess similarities among stations and to delimit communities.

2. MATERIALS AND METHODS

In march 1995 a survey was carried out in the Viareggio area (Fig 1) (Ligurian Sea), from 15 to 45 metres depth. Benthos was sampled in 15 stations by a modified "double-sided anchor dredge" (Holme, 1961) We considered a Constant volume of 50 l for every sample

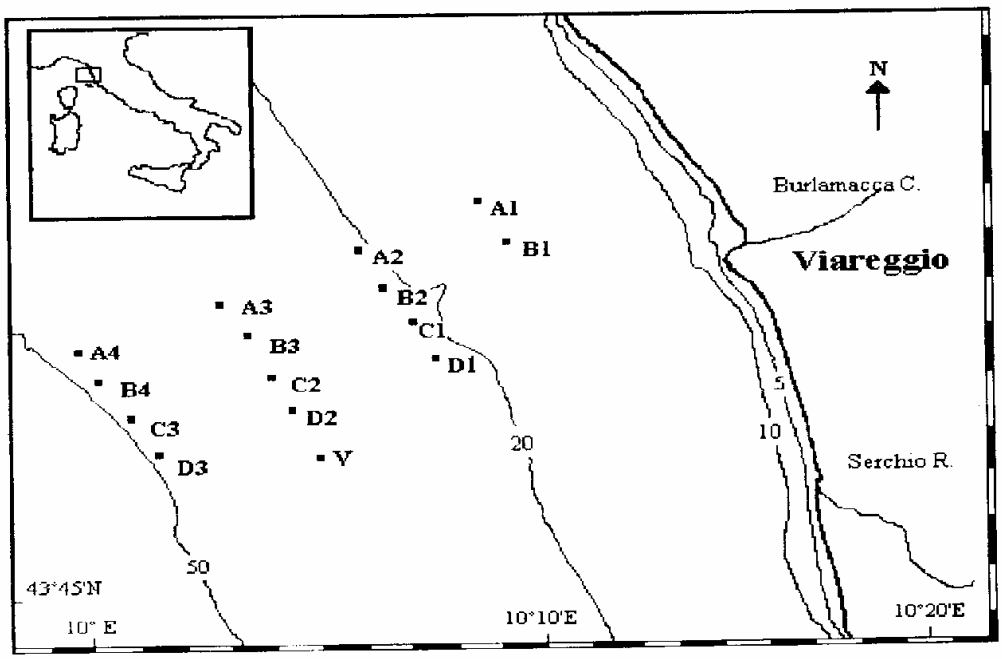


Fig. 1 - Location of sampling sites.

The samples were washed in two sieves laying one over the other with decreasing mesh (mesh size 10.00 mm, 1.00 min) to gel the differentiated collecting of the organisms; the animals were sorted manually in laboratory and were perserved in 10% formalin. Organisms were identified, counted and weighted Biomass was calculated by wet weight (mg/1) in order not to destroy organisms (Castric-Fey, 1996).

A species-station matrix was created and was subjected to univariate and multivariate analysis. The study of the organisms at the species level allowed to characterize the study area from the faunistic and bionomic point of view (Pérès & Picard, 1964).

The community has been analysed from the trophic point of view, classifing the organisms according to the trophic preferences. Five different trophic groups have been identified: carnivores (C), omnivores (O), suspension feeders (S), surface-deposit feeders (DS), sub-surface-deposit feeders (DSS), according to the existing references (Sanders, 1958 and 1968; Purchon, 1977; Fauchald & Jumars, 1979, Bachelet, 1981, Russo & Fresi, 1984, Gaston, 1987).

In the univariate analysis five structural parameters were calculated: total abundance (N), number of species (S), Margalef s richness (D), Pielou's equitability (J), Shannon-Wiener's diversity (H'). Only the last one was presented as the more synthetic structural parameter (Matagi, 1996).

Multivariate methods such as ordination and classification were employed in order to assess similarities among stations and to delimit communities The raw data were transformed using y=log(x+l) transformation. The Bray-Curtis similarity index was used since this is not affected by joint absences (Clarke & Green, 1988).

Classification of stations was performed on the similarity matrix by using the average-linkage clustering technique. Ordination methods (multidimensional scaling-MDS) were used to evaluate the group separation derived by cluster analysis.

3. RESULTS

The investigation identified 1210 organisms belonging to 57 different species, of which 40% polychaetes annelids, 36% molluscs, 16% echinoderms, 3% crustaceans and 5% of miscellaneous taxa (e.g. nemerteans, sipunculans etc.). The polychaetes are the dominant group, including 32 species.

Some of dominant species *(Melinna palmata)* and the greatest distribution *(Nephtys hystricis,* present in 14 stations on 15) belonged to polychaetes. Among molluscs (12 species found), the most frequent and in general those with the greatest number of individuals is *Corbula gibba,* present in 12 stations Among echinoderms *Labidoplax digitata* was found in 13 stations.

The area is not characterized by the presence of well-defined biocoenosis, with species generally belonging to different biocoenosis, such as fine well-sorted sand biocoenosis (SFBC), terrigenous mud biocoenosis (VTC), muddy detritic bottoms biocoenosis (DE) or species with a wide ecological ripartition (LRE), coexinting in the same area. In fact, by the coastal stations there is a high percentage of exclusive species of the fine well-sorted sand biocoenosis (SFBC), such as *Nassarius mutabilis, Diopatra neapolitana* and *Tellina pulchella,* together with generalist elements mainly "loving sand

elements" and in a smaller percentage indicators of organic matter species (Bellan, 1991) such as *Corbula gibbo, Glycera rouxii* and *Lumbrineris latreilli.*

Following the bathymetric gradient, a "semplification" of the biocoenotic structure is evident: in the deepest stations it is less heterogeneus and dominated by the VTC biocoenosis (i.e. *Labidoplax digitata, Sternapsis scutata* and *Goneplax rhomboides).*

The investigation on the trophic-functional aspects shows a more homogeneous situation, dominated by the presence of the surface-deposit feeders. Table 1 shows the most significant species found with a frequency more than to 20%.

Tab. 1 - Dominant species, their biocoenosis and trophic groups (Bioc=Biocoenosis; T.G.=Trophic Groups). For the T.G. initials see text. For the biocoenosis initials: SFBC=fine well-sorted sand biocoenosis; DE=muddy detritic bottoms biocoenosis; VTC=terrigenous mud biocoenosis; Vp=bathyal mud biocoenosis; LRE=species with a great ecological ripartition; Lim=limicola species; Mo=organic matter indicators species; Mixt=mixticola species; Sab=sabulicola species; Minut=minuticola species.

bioc	T.G.	species	bioc	T.G.	species
		POLYCHAETA			
VTC	DS	*Ampharete acutifrons* (Grube, 1860)	Sab	O	*Lumbrineris gracilis* Ehlers, 1868
Lim	DS	*Amphicteis gunneri* (Sars, 1835)	Mo	O	*L. emondibulata mabiti* Ramos, 1976
SFBC	O	*Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841)	Mo	C	*L. latreilli,* Audouin e M.-Edwards, 1834
Mo	C	*Glycera rouxii* (Audouin e M. Edwards, 1833)	VTC	DSS	*Maldane sarsi* (Malmgren, 1865)
VTC	C	*Goniada maculata* Oersted, 1843	Minut	DS	*Melinna palmata* Grube, 1870
Vp	C	*Harmothoe impar* (Johnston, 1839)	VTC	C	*Nephtys hystricis* Mc Intosh, 1900
Lim	C	*Lumbrineris fragilis* (Muller, 1776)	VTC	DSS	*Sternapsis scutata,* (Renier, 1807)
		MOLLUSCA			
Lre	S	*Calyptraea chinensis* (L., 1758)	Lim	DS	*Nucula nitidosa* Winckworth, 1930
Mo	S	*Corbula gibba* (Olivi, 1792)	SFBC	DS	*Nassarius mutabilis* (L., 1758)
Mixt	C	*Dentalium inaequicostatum* Dautzenberg, 1891	SFBC	DS	*Tellina pulchella* Lamark, 1818
Sab	S	*Dosinia lupinus* (L., 1758)	VTC	DS	*Turritella communis* Risso, 1826
SFBC	S	*Ensis siliqua* (Chenu, 1843)			
		CRUSTACEA			
Lim	DS	*Apseudes echinatus* Sars, 1858	VTC	O	*Goneplax rhomboides* (L., 1758)
Lim	DS	*Amphiura chiajei* Forbes, 1843			
		ECHINODERMATA			
VTC	DS	*Labidoplax digitata* (Montagu, 1815)	Lim	DS	*Trachythyone elongata* (Duben-Koren, 1844)
		SIPUNCULIDA			
DE	DSS	*Golfingia margaritacea* Sars, 1851			

A massive presence of surface-deposit feeders is particularly evident in the most coastal stations, in the stations B2, CI and DI suspension feeders are also present.

While, in the A3 and B3 stations the carnivores represent the dominant trophic group (Fig. 2).

At last, the deeper stations (40-45 m) are still dominant in the surface-deposit feeders, but also carnivores are well represented.

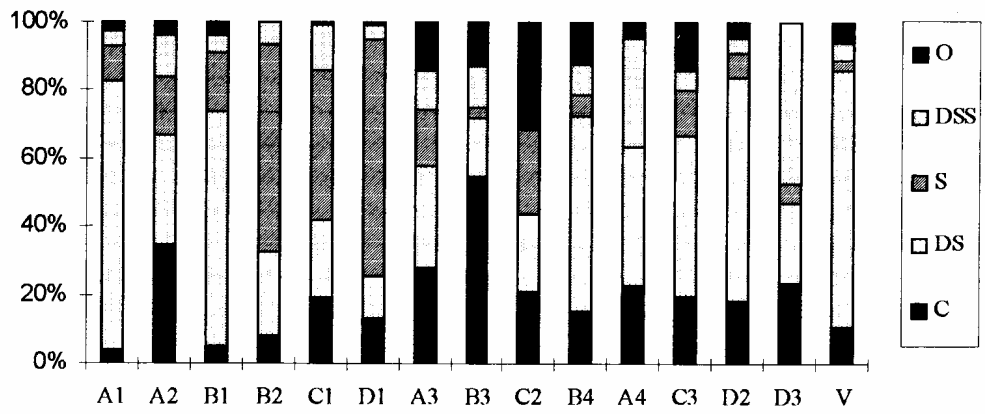


Fig. 2 - Abundance ripartition among the trophic groups.

In general, the biomass values are higher in the coastal stations (Gambi & D'Agostino, 1992) and lower in the deep stations. The biomass partition among the species shows a typical Gaussian distribution and points out that the greatest contribution, as regards biomass, is given by few species (Warwick & Clarke, 1996) such as *Labidoplax digitata, Corbula gibba, Sternapsis scutata, Nephtys hystricis.*

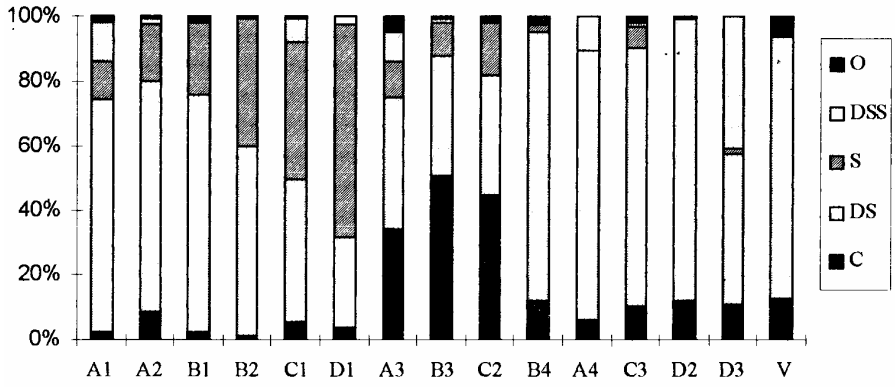


Fig. 3 - Biomass distribution among the trophic groups.

Among different trophic group, abundance (Fig. 2) and biomass values (Fig. 3) show a similar trend: surface-deposit feeders are dominant in both cases, particularly in the coastal stations and in the deeper ones. As far as biomass, carnivores are more represented in the intermediate stations.

As far as structural parameters, stations A3, B3 and C3 have the highest species number. On the contrary the highest values of abundance were found out in the shallower stations.

The diversity index shows low values pointing out a low structuration reached by communities (Fig. 4). A local increase takes place in the intermediate stations, with the highest peak (2,83) in the A3 station.

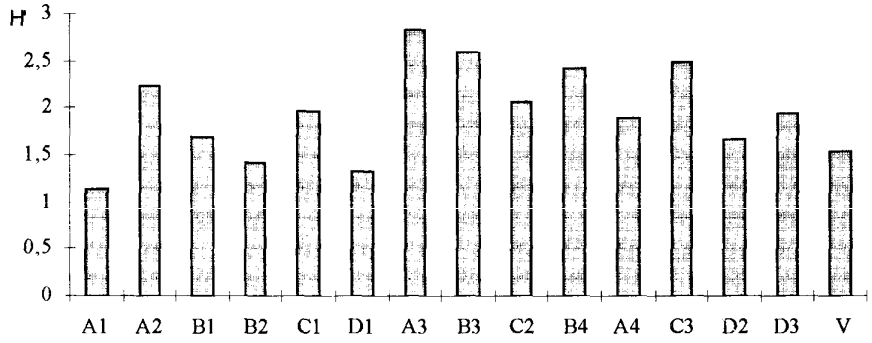


Fig. 4 - Trend of Shannon-Wiener diversity index (H') calculated using $\log_e$.

In order to have an insight of the bathymetric gradient, the results have been gone into, using the non-metric multidimensional scaling (MDS) that, among the available ordination methods, appears to be emerging as a relatively robust method (Greensteet & Hall, 1996).

MDS shows that the community is distributed in clusters according to a bathymetric gradient; in detail, the analysis identified three clusters, as represented in figure 5, where cluster I is composed of stations Al, A2, B1, B2, C1, D1; cluster II of stations A3, B3, C2, and cluster III of stations A4, B4, C3, D2, D3 and V. Cluster I (Fig. 6) includes the shallower stations (from 15 to 20 meters) and it is characterized by high abundance values, in particular by the polychaete *Melinna palmata* and by the bivalve *Corbula gibba.* Typical of this cluster are some species belonging to the biocoenosis of the SFBC, together with a high percentage of species indicating organic matter, by "mixticola" species and by some species belonging to the biocoenosis of the VTC. Biomass values are high in cluster I (average wet weight = 540 mg/1), and as regards the specific diversity, the values are low

The stations(from 26 to 28 meters) of cluster II (Fig., 6), lacking of exclusive elements, with the exception of *Amphicteris gunneri,* show a general decrease of the abundance values. In this cluster the species belonging to the SFBC biocoenosis decrease, while VTC ones increase.

As regards the trophic groups, carnivores are dominant, but they coexist with the other trophic groups. Biomass values drop (average w.w. = 81 mg/l), and the diversity values have their maximum value with an average of 2.45.

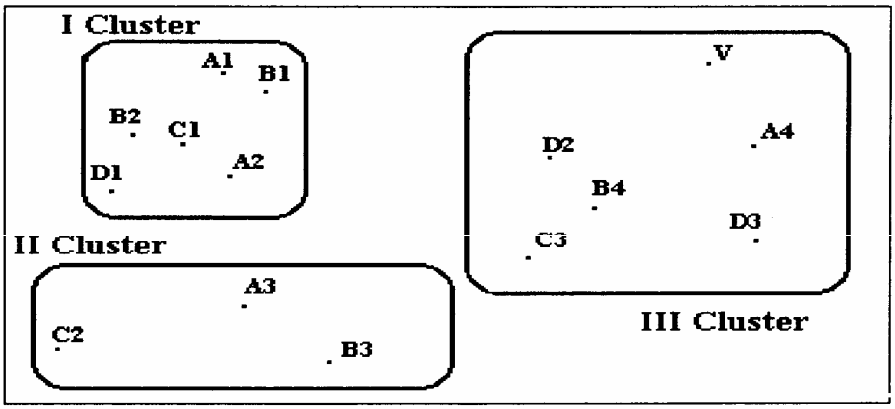


Fig. 5 - MDS ordination on log (x+1) transformed species abundance data (stress 0.08).

Cluster III is represented by the deeper stations (Fig. 6) and shows a specific rarefaction; the polychaete *Glycera rouxii,* although not exclusive of this cluster, has been found out in all the stations forming this cluster.

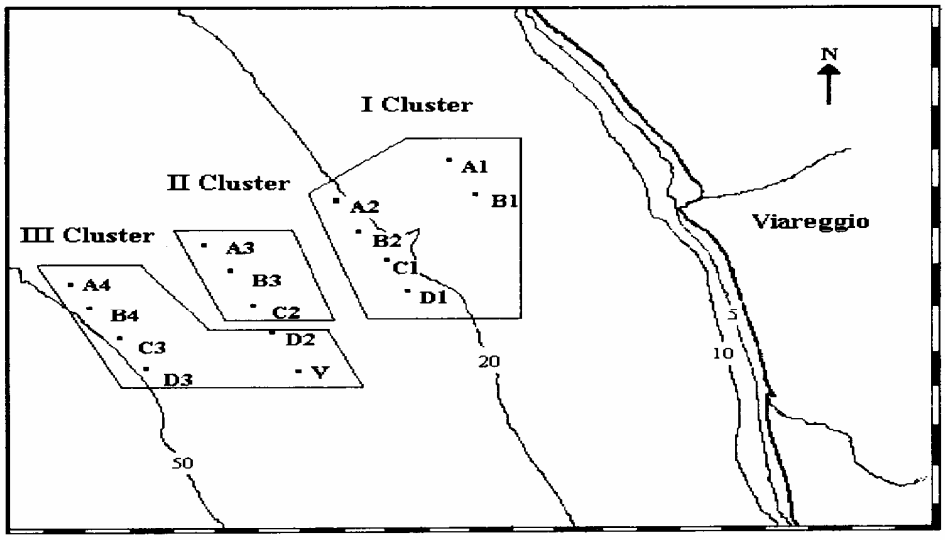


Fig. 6 - Geographycal distribution of clusters obtained by cluster analysis.

In the third cluster a dominance of the species belonging to the VTC biocoenosis is observed, together with a lower number of "limicola" and organic matter indicator species. The surface-deposit feeders are abundant, with a general presence of the other trophic categories. Biomass values remain similar (w.w. average = 150 mg/1) the previous one. As regards diversity values, the average is 1.9.

4. CONCLUSIONS

Both the coastal area, where SFBC biocoenosis is dominant, and the deeper one, where VTC biocoenosis is dominant, are characterized by the contemporary presence of generalist elements and organic matter indicator species. Such a situation is typical of disturbed areas, characterized by niches diversifications (Caswell & Cohen, 1991, Warwick & Clarke, 1993), that allows the settlement of the species with a different ecological characteristics, even in small spaces.

In this case, the hypothesis of the sedimentary instability, already proposed by many authors (Gambi & Giangrande, 1985; Bianchi *et al.,* 1993, Immordino & Setti, 1993) seems possible enough, owing to the rivers vicinity. Moreover the tendency towards the purification of the VTC biocoenosis, in a bathymetric direction, seems to underline that with fluvial influences and a reduced disturbance, also a bionomic stabilisation takes place.

The situation of instability, particularly evident along the coast, is proved both by the low values of specific diversity, and by the dominance of the surface-deposit feeders, generally more abundant in a high-sedimentation environment (Lastra *et al.,* 1991).

It is to notice that the suspension feeders present in this area are mainly localized in high-hydrodynamic energy areas (Gray, 1974, 1981), and are either organic matter indicators *(Corbula gibba)* or species prefering coastal areas influenced by rivers.

In the stations of cluster II, the dominance of the carnivores shows a more complex situation. It is well known that carnivores' presence necessarily depends on preys' presence. This situation implies a higher trophic diversification, therefore it is frequent, like in these stations, to detect an increase of the specific diversity of these trophic categories (Gambi & Giangrande, 1985).

The situation of this cluster seems to confirm the hypothesis of the intermediate disturbance, according to it, the diversity is higher when disturbance is intermediate on the scales of frequency and intensity (Connell, 1978).

In fact, this sea belt represents a transition area where the “fluvial effect” is reduced, while the “bathymetric effect” is not high yet. The last one is generally shown by the population rarefaction and simplification which can be noticed only in the deepest stations.

The investigation on the trophic structure throught the biomass offers quite similar conclusions. The use of biomass values, however, describes more effectively the conditions of more structurated communities (Castric-Fey, 1996): in fact, in the second 'cluster, the abundance values tend, with respect to the biomass values, to undervalue the carnivores. This implies that when the community “grows up” with a multi-trophic-functional-level structure, the weight values become more important in relation with the abundance ones.

This study confirm that the trophic aspects with the structural ones offer additional information, combined with biomass evaluations, on the health and the level of organization of the communities.

On the other hand, the community structure can only be a reflection of the way the community is functioning, and the functional importance of a species depends not only on its number, but also on its size, its activity and its behaviour (Warwick, 1995).

The extension to all taxa of the "trophic groups" concept and the evaluation of their role on precise quantitative and clearly defined bases can represent a valid tool for a better comprehension of the marine ecosystems, both for the basic ecological aspects and for the usage implications (Bianchi & Morri, 1985). The measurement of the biomass and its comparison with other parameters, which were used in the past for the evaluation of the effect of the organic enrichment on the benthic communities (Warwick *et al.,* 1987), can offer a contribution in order to have an overall vision and to analyze more completely even situations of natural disturbance, both physical and biological.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to S. Aliani (CNR, La Spezia) for scientific suggestions, M.G. Finoia and L. Lauricella (ICRAM, Roma) for critical statistical review, M. Oddino and A. Ridolfi for linguistic support.

REFERENCES

Bachelet G. 1981. Données préliminaires sur l'órganisation trophique d'un peuplement benthique marin. *Vie Milieu,* 31 (3-4): 205-213.

Bellan G. 1991. Characteristic, indicative and sentinel species: from the conception to the utilization. In: Terrestrial and aquatic ecosystem: perturbation and recovery. Ellis Hathwood: 95-100.

Bianchi C.N., Ceppodomo I., Cocito S., Aliani S., Cattaneo-Vietti R. & Morri C. 1993. Benthos dei Mari Toscani. III: La Spezia-Livorno (crociera Enea, 1987). In: Arcipelago Toscano. Studio oceanografico, sedimentologico, geochimico e biologico. Enea (ed.): 317-337.

Bianchi C.N. & Morri C. 1985. I Policheti come descrittori della struttura trofica degli ecosistemi marini. *Oebalia,* 11 N.S.: 203-214.

Castric-Fey A. 1996. Richesse et biodiversité en mer mégatidale: communautés sublittorales rocheuses de la région Trebeurden-Ploumanac'h (Nord Bretagne, France). *Cah. Biol. Mar.,* 37: 7-31

Caswell H. & Cohen J.E. 1991. Communities in patchy environments: a model of disturbance, competition and heterogeneity. In: Ecological heterogeneity (Kolasa J. & Pickett S.T.A. eds.) Springer-Verlag, New York: 97-122.

Clarke KR. & Green R.H. 1988. Statistical design and analysis for a biological effects study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 46: 213-226.

Cocito S., Fanucci S , Niccolai I., Morri C. & Bianchi C.N. 1990. Relationship between trophic organization of benthic communities and organic matter content in Tyrrhenian Sea sediments. *Hydrobiologia,* 207: 53-60.

Connell IH. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reef. *Science,* 199: 1302-1310.

Fauchald K & Jumars P. 1979. The diet of the worms: a study of Polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 17: 193-284.

Fedra K , Olscher E.M., Scherubel C., Stachowitsch M. & Wurzian R S 1976. On the ecology of a North Adriatic benthic community: distribution, standing crop and composition of the macrobenthos. *Mar. Biol.,* 38: 129-145.

Gambi M.C. & D'Agostino T. 1992. Biomass estimates of some zoobenthic species associated to seaweeds in the shallow hard bottoms off Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Atti X Congr. A.I.O.L.,* Alassio: 691-697.

Gambi M.C. & Giangrande A. 1985. Analisi della struttura trofica del popolamento dei policheti nei fondi mobili di due aree del Mar Tirreno. *Oebalia,* 11 N.S.: 215-222.

Gambi M.C., Giangrande A. & Fresi E. 1984. I policheti dei fondi mobili del Golfo di Salerno: ipotesi di un modello di distribuzione generale. *Nova Thalassia,* 6 N.S.: 575-583.

Gaston G.R. 1987. Benthic polychaeta of the Middle Atlantic Bight: feeding and distribution. *Mar. Ecol. Progr. Ser.,* 36: 251-262.

Gee J.M. & Warwick R.M. 1996 A study of global biodiversity patterns in the marine motile fauna of hard substrata. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.,* 76: 177-184

Gravina M.F., Grassi D , Chimenz C. 1995. Caratterizzazione trofica del taxon a policheti in tre diversi biotopi di substrato duro del Lazio (Italia). *Biol. Mar. Medit.,* 2(2): 375-377.

Gray J G. 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanogr. Mar. Biol. Ami. Rev.,* 12: 223-261.

Gray J.G. 1981. Ecology of marine sediments Cambridge Univ. Press, Cambridge, 185 pp

Greensteet S.P.R. & Hall S.J. 1996 Fishing and the ground-fish assemblage structure in the north-western North Sea: an analysis of long-term and spatial trends. *J. Anim. Ecol,* 65: 577-598.

Holme N.A. 1961. The bottom fauna of the English Channel *J. Mar. Biol. Ass. U.K.,* 41: 397-461.

Immordino F. & Setti M. 1993. Caratterizzazione granulometrica e mineralogica dei sedimenti superficiali marini dell'Alto Tirreno tra La Spezia e Livorno. In: Arcipelago Toscano. Studio oceanografico, sedimentologico, geochimico e biologico. Enea (ed.): 51-64

Lastra M., Palacio J., Sanchez A. & Mora J. 1991. Estructura trofica infralitoral de la bahia de Santander. *Cah. Biol Mar.,* 32: 333-351.

Matagi S.V. 1996. The effect of pollution on benthic macroinvertebrates in a Ugandan stream. *Arch. Hydrobiol.,* 137(4): 537-549.

Maurer D., Robertson G. & Gerlinger T. 1995 Community structure of soft-bottom macrobenthos of the Newport Submarine Canyon, California. *Mar. Ecol.,* 16 (1): 57-72.

Pérès J.M. & Picard J 1964 Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Mediterranee. *Ree. Trav. Sta/. Mar. Eudoume,* 31 (47), 137 pp.

Purchon R.D. 1977. The biology of Mollusca Pergamon Press, Oxford, 560 pp

Russo GF & Fresi E. 1984 Analisi strutturale del popolamento a Molluschi nei fondi mobili del Golfo di Salerno: aspetto invernale. *Nova Thalassia,* 6 N.S.: 645-653.

Sanders H.L 1958. Benthic studies in Buzzards Bay I Animal-sediment relationship. *Limnol. Oceanogr.,* 3: 245-153

Sanders H.L. 1960 Benthic studies in Buzzards Bay III. The structure of the soft bottom community. *Limnol. Oceanogr.,* 5: 138-153

Sanders H.L. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *Am. Nat.,* 102: 243-282.

Sanvincente-Añorve L, Leprêtre A. & Davoult D. 1996. Large-scale spatial pattern of the macrobenthic diversity in the eastern English Channel. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.,* 76: 153-160.

Sokolova M.N. 1956. Some features of the distribution of the deep water benthos *Dokl. AkadNauk. SSSR,* 110: 692-695.

Sokolova M.N. 1959. On the distribution of deep water bottom animals in relation to their feeding habits and the character of sedimentation. *Deep Sea Res.* 6: 1-4.

Turpaeva Y.P. 1953. Feeding and food groupings of marine benthic invertebrates *Trud. Inst. Okeanol, 6.* 259-299.

Turpaeva Y.P. 1957. Feed interrelationships in marine benthic biocoenosis. *Mar Biol.,* 20: 137-148.

Warwick R.M. 1985. The structure and dynamics of marine benthic communities. *Nova Thalassia, 7: 31-42.*

Warwick R.M. & Clarke K.R. 1993 Increased variability as a symptom of stress in marine communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 172: 215-226

Warwick R.M. & Clarke K.R. 1996. Relationship between body-size, species abundance and diversity in marine benthic assemblages: facts or artefacts? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 202: 63-71.

Warwick R.M., Pearson T.H. & Ruswahyuni C. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method. *Mar. Biol.,* 95: 193-200.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 427 - 433

SEASONAL CHANGES IN NUCLEIC ACID CONCENTRATION (DNA, RNA AND RNA:DNA RATIO) AND BACTERIAL DYNAMICS IN CONTINENTAL AND DEEP-SEA SEDIMENTS OF THE CRETAN SEA: PRELIMINARY RESULTS

Antonio DELL'ANNO[1], Roberto DANOVARO[1], Norberto DELLA CROCE[2], Monica ARMENI[1]

[1] Facoltà di Scienze, Università di Ancona, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italy.
[2] Istituto Scienze Ambientali Marine, Università di Genova, Corso Rainusso 14, 16038 S.Margherita L., Genova, Italy.

RIASSUNTO

Tra l'Agosto 1994 e il Settembre 1995 sono stati prelevati stagionalmente campioni di sedimento nel mare di Creta (ad una profondità compresa tra i 40 e i 1540 m) per l'analisi degli acidi nucleici, della densità e della biomassa batterica. Questi parametri uniti al rapporto RNA/DNA mostravano un andamento decrescente con la profondità indicando un progressivo impoverimento della qualità della sostanza organica nei sedimenti più profondi. Le variazioni stagionali del contenuto di DNA sono state correlate, soprattutto alle maggiori profondità, agli apporti di sostanza organica primaria provenienti dalla zona fotica. L'aumento del rapporto RNA/DNA, riscontrato tra i 940 e i 1540 m, sembra essere dovuto all'aumento del contributo del DNA batterico al pool di DNA totale. Il presente lavoro ha permesso di calcolare che circa l'85% del DNA totale era di natura detritale rappresentando pertanto un importante risorsa di N e P organico labile per il metabolismo eterotrofico negli ambienti profondi.

ABSTRACT

Sediment samples were collected on seasonal basis from August 1994 to September 1995, at seven stations of the Cretan Sea (from 40 to 1540 m) for nucleic acid analysis (DNA, RNA) and bacterial abundance and biomass estimation. Bacterial densities, DNA and RNA concentrations and the RNA:DNA ratio decreased with depth indicating a progressive depletion of the quality of the organic material in deeper stations. Seasonal

changes in DNA content were related to the inputs of primary organic material from the photic layer. Higher RNA:DNA ratios appeared to be due to the increase of the bacterial contribution to the DNA pool that was found to increase with depth. We estimated that about 85% of the DNA pool was detrital, thus representing an important source of labile organic N and P for heterotrophic metabolism in deep-sea environments.

1. INTRODUCTTON

Nucleic acid determination in marine environments has attracted special attention because of the specific relationship between RNA:DNA ratios and the growth rates of a variety of marine organisms (Dortch *et al.,* 1983). Early studies, utilising DNA concentrations as a possible measure of the living biomass in the oceans, found unreasonably high concentrations and hypothesised that most DNA is not associated to living cells and is not immediately degraded (Holm-Hansen *et al.* 1968). The exact nature of non-living (detrital) DNA is uncertain. Nevertheless, it is possible to hypothesise that detrital nucleic acids may represent a N and P reservoir and may be utilised as a reservoir of nucleic acid precursors which are metabolically expensive to synthesise *de novo.* Information dealing with DNA in deep-sea sediments is extremely limited (Danovaro *et al.,* 1993). Bacterial distribution has been found to be correlated to the amount of sedimentary DNA. Since bacteria increase their significance with depth, accounting up to 90% of the total benthic biomass in deep-sea sediments (Pfannkuche, 1993), it is likely that they may account for a significant fraction of the living DNA pool thus playing an important role in the turnover of the genetic material in deep-sea sediments. The aim of the present study was to quantify the amounts of the detrital DNA in the Continental and deep-sea sediments of the Eastern Mediterranean Sea. Seasonal changes of the DNA concentrations are related to the seasonal varying organic inputs and to the benthic bacterial dynamics in order to understand: 1) how they are related to the nature of the sedimentary organic matter; 2) which is the contribution of bacterial-DNA to the total DNA pool; 3) which is the potential turnover of the genetic material mediated by bacteria.

2. MATERIALS AND METHODS

The sampling area is located in the Cretan Sea (South Aegean, Eastern Mediterranean). The area is extremely oligotrophic (Dugdale & Wilkerson, 1988) and characterised by high summer temperature and a strong water column stratification (thermocline at 50 m and Constant temperatures below 100 m: 13-14.5°C). Seven stations were sampled on August 1994, February, May and September 1995 using the *R/V PHILIA.*

The sampling schedule included the transect of stations: D1 (40 m depth), D2 (100 m depth), D3 (200 m depth), D4 (500 m depth), D5 (700 m depth), D6 (940 m depth) and D7 (1540 m depth), north of Traklio (Fig. I).

Undisturbed sediment samples were collected using a multicorer (8 cores, i.d. 9.5 cm). For nucleic acid analysis, the top 1 cm of two cores was collected, homogenised, and frozen at -20°C. For microbial analyses sediment subsamples from the top 1 cm were collected using sterile syringes on 3-5 replicates and fixed with 0.2 µm filtered sea water containing neutralized 2% formalin and stored at 4°C.

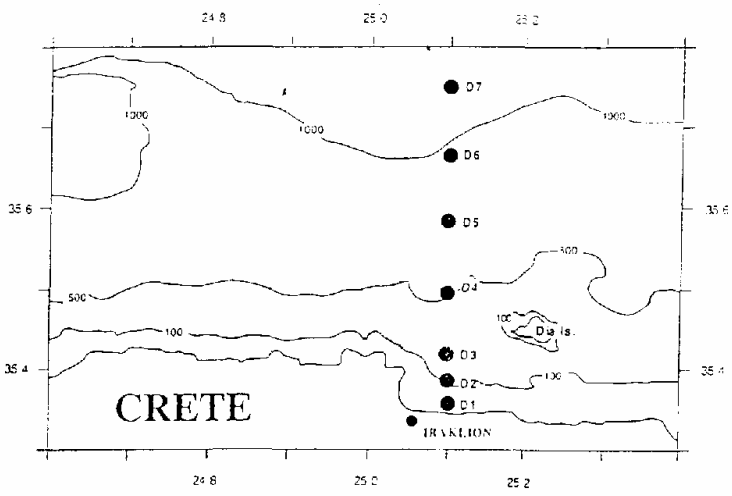


Fig. 1. Sampling area and station location

2.1. Nucleic acid analysis

Nucleic acid extraction and measurement were performed according to Zachleder (1984). To enhance DNA extraction from the sediments the method was modified as follow: 1-2 g of sediment (three replicates) were treated with 3.0 mi of 0.5N perchloric acid, stirred and sonicated. Hydrolysis and extraction of nucleic acid were carried out at 70 C for 30 min. The sample was centrifuged and the supernatant was measured at 260 nm for total nucleic acid (TNA) determination. DNA content was determined with diphenylamine reagent and referred to standard solutions of DNA Type I from calf thymus. RNA absorbance was calculated from the difference of TNA and DNA. RNA concentrations were referred to standard solutions of RNA Type III from Backer's yeast. Blanks were processed using the same sediment previously treated in muffle furnace (550°C, 4h). Sensitivity of the method has been tested using internal standards (accuracy ± 2.5 µg) and appears to be adequate for field investigations.

2.2. Bacterial analyses

Sediment samples were sonicated 3 times, diluted 100 times, stained with Acridine Grange and filtered on black Nuclepore 0.2 µm filters. The filters were analysed as described by Montagna (1982) using epifluorescence microscopy (Zeiss Universal Microscope). Bacterial DNA (B-DNA) was estimated assuming a conversion factor $5 \cdot 10^{-1}$g DNA cell^{-1} (Simon & Azam, 1989).

3. RESULTS

3.1. Nucleic Acids

Seasonal and spadai changes in DNA and RNA concentrations and RNA:DNA ratios are showed in Table 1.

Tab. 1 - DNA and RNA concentrations and RNA:DNA ratios in the sediments of the Cretan Sea.

		Aug 94			Feb 95			May 95			Sept 95		
Station	Depth (m)	DNA µg g-1	RNA µg g-1	RNA/ DNA	DNA µg g-1	RNA µg g-1	RNA/ DNA	DNA µg g-1	RNA µg g-1	RNA/ DNA	DNA µg g-1	RNA µg g-1	RNA/ DNA
D1	40	55.2	27.8	0.5	30.8	28	0.8	30	28.6	1	39.7	29.9	0.8
D2	100	19.9	12.1	0.6	49.2	10.5	0.2	15.2	11.9	0.8	38.5	19.1	1
D3	200	8.7	0	0	34.2	0.5	0	19.3	21.8	1.1	37.4	20.5	0.6
D4	500	14	3.2	0.2	26.6	10.3	0.5	13.1	10.2	0.8	16.6	5.1	0.2
D5	700	23.6	1.5	0.1	40.3	1.8	0	5.1	7.8	1.5	34	2.2	0.1
D6	940	15.3	1.1	0.1	26.6	3.2	0.1	29.2	15.9	0.5	37.7	0.8	0
D7	1540	6.6	2	0.3	17.4	8	0.4	3.5	5.7	1.6	12.3	0.4	0.1

DNA concentrations generally declined with depth. Highest concentrations were reported in the Continental shelf. Maximum value was reported in August 1994 at 40 m depth (55.2 µg g^{-1} sed. DW). Lowest concentration was observed in May 1995 at 1540 m depth (3.5 µg g^{-1} sed. DW). DNA concentrations were characterised by significant seasonal changes with higher values in February 1995 and September 1995 and lower concentrations in August 1994 and May 1995. The spatial distribution of DNA concentrations (annual average) is illustrated in Fig. 2.

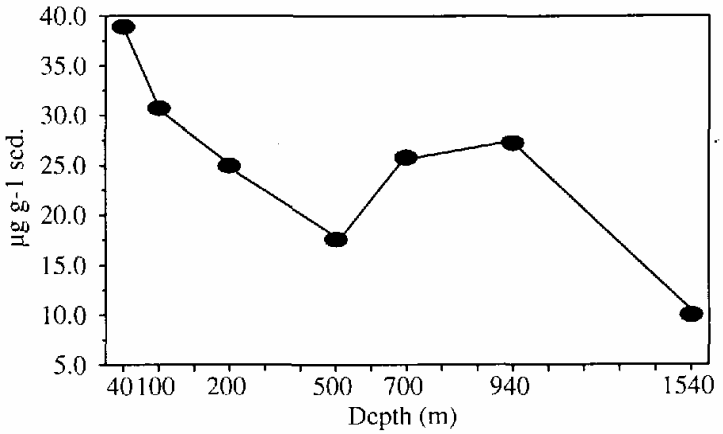


Fig. 2 - DNA concentrations in continental and deep-sea sediments of the Cretan Sea (annual average).

Similar patterns were evident for RNA concentrations which strongly decreased with depth. RNA concentrations increased from August 1994 to May 1995 to decline in September 1995. As a result RNA:DNA ratios were highest values in May 1995 (on average 1.05). RNA:DNA ratios generally decreased with depth but lowest values were observed at 940 m depth. Usually RNA:DNA ratio increased from 940 to 1540 m.

3.2. Benthic bacteria

Bacterial density in the sediments of the Cretan Sea was higher in the shelf and declined in the Continental slope (Fig. 3).

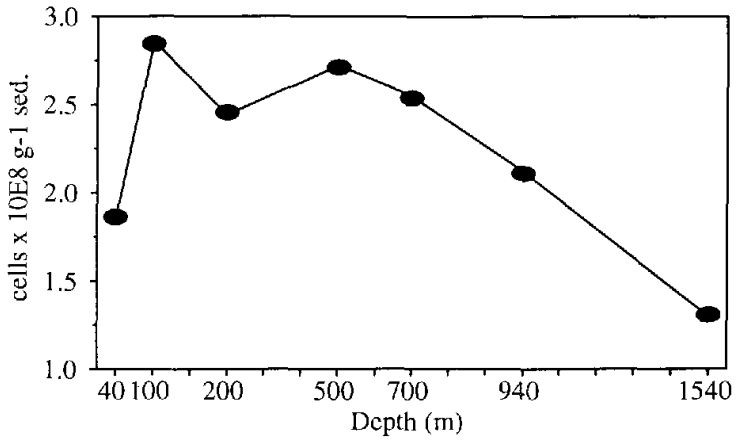


Fig. 3 - Benthic bacterial density (40-1540 m depth, 0-1 cm sediment layer, annual average).

Bacteria showed significant seasonal changes with highest values in February 1995 and lowest densities in August 1994. Concentrations of bacterial-DNA ranged between 0.45 and 4.59 µg DNA g^{-1} sed.DW (August 1994 and February 1995, respectively). Bacterial contribution to the total DNA pool increased significantly with depth, on annual average, from 2.6 to 11.2% (Station DI and D5 respectively). However, an extremely low value was observed at Sta. D6 (940 m).

4. DISCUSSION

4.1. Seasonal changes of nucleic acid concentrations

DNA concentrations were characterised by significant seasonal changes with highest values in February and September 1995. Such an increase in DNA content of the sediments was related, especially in the deep stations, to the seasonal inputs of organic material from the photic layer as suggested by the significant relationship between DNA concentration and CPE (as chloroplastic pigment equivalents; Della Croce *et al.,* 1996). Similarly

bacterial dynamics appeared to be related to the input of fresh organic material to the sediments and showed significant relationships with the amounts of CPE and proteins.

The increase of the RNA:DNA ratio was related to the increase of the bacterial contribution to the DNA pool. This would suggest that bacteria are responsible to the enhancement of the RNA:DNA ratio in the deep-sea sediments of the Cretan Sea.

Bacterial-DNA accounted on average for a small fraction (on annual average 6.6%) of the total DNA pool, but their significance increased with depth (Fig. 4).

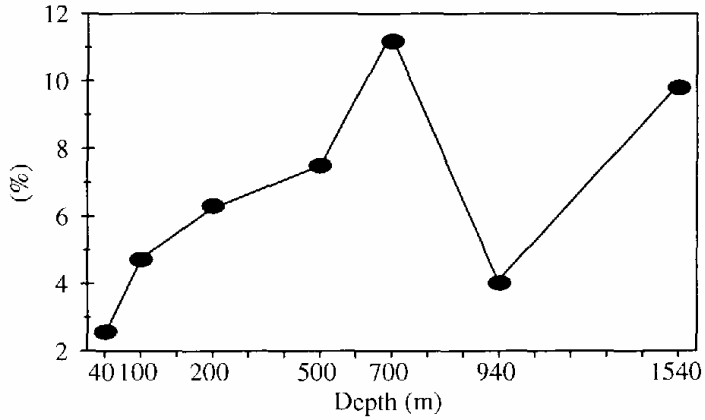


Fig. 4 - Bacterial contribution to the total DNA pool in continental and deep-sea sediments of the Cretan Sea.

Since, in deep sediments, meiofauna accounted on average for about 35% of the total biomass (as the SUITI of bacterial and meiofaunal biomass), it is possible to estimate that the contribution of the total living DNA (as bacterial plus meiofaunal DNA) to the total DNA pool is on average less than 15%. This means that about 85% of the DNA pool is detrital and potentially available as trophic source for heterotrophic metabolismo

The RNA:DNA ratio may provide useful information on the quality of the sedimentary organic matter. RNA:DNA ratio generally decreased with depth indicating a progressive depletion of the quality of the organic material in deeper sediments. However, an increase of the RNA:DNA ratio was observed in the deepest station D7 (1540 m). This station is located in a bathyal plane and as evident from direct field observations may be considered as a sink of material settling from the photic layer and from the slope.

4.2. Turnover of DNA in Continental and Deep-Sea sediments

In a recent investigation on the continental and deep-sea sediments (from 40 to 2000 m depth), Kemp (1994) found surprisingly uniform values of the specific growth rate of benthic bacteria with equivalent turnover times generally ranging from 1.6 and 2.4 d. Utilising these data and assuming an average turnover lime of 2 d it is possible to estimate

the turnover of the sedimentary DNA in the Cretan Sea. Bacterial-DNA is on average 6.6% of the total DNA pool. If we assume that bacteria utilise nucleotides from detrital DNA instead of synthesising nucleotides *de nova,* it may be calculated a daily turnover equivalent to 3.3 % of the DNA pool. This means that the complete turnover of the genetic material mediated by benthic bacteria would require *ca* 30 days.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the crew and the officer of the R/V PHILIA for help during sampling. This research has been carried out in the frame of the Programme CINCS: Pelagic-benthic coupling in the oligotrophic Cretan Sea (Contract n. MAS2-CT94-0092).

REFERENCES

Danovaro R., Fabiano M. & Della Croce N. 1993. Labile organic matter and microbial biomasses in deep-sea sediments (Eastern Mediterranean Sea). *Deep-Sea Res.,* 40: 953-965

Della Croce N., Danovaro R., Fabiano M., Albertelli G. & Tselepides A. 1996. Benthic bacteria and seasonal changes of organic input in the deep-sea sediments of the Cretan Sea : preliminary results. *J. Rech. Oceanog.,* 21: 21-28.

Dortch Q., Roberts T.L., Clayton J.R. & Ahmed S.I. 1983. RNA:DNA ratios and DNA concentrations as indicators of growth rate and biomass in planktonic organisms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 13:61-71.

Dugdale R.C. & Wilkerson F.P. 1988. Nutrient sources and primary production in the Eastern Mediterranean. *Oceanol. Acta,* 9: 178-184.

Holm-Hansen O., Sutcliffe W.H. & Sharp J. 1968. Measurement of deoxyribonucleic acid in the ocean and its ecological significance. *Limnol. Oceanog.,* 13: 507-514.

Kemp P.F. 1994. Microbial carbon utilisation on the continental shelf and slope during the SEEP-I1 experiment. *Deep-Sea Res.,* 41: 563-581.

Montagna P.A. 1982. Sampling design and enumeration statistics for bacteria extracted from marine sediments. *Appl. Env. Microbiol.* 43: 1366-1372.

Pfannkuche O. 1993. Benthic response to sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Res.,* 40: 135-140.

Simon M. & Azam F. 1989. Protein content and protein synthesis rates of planktonic bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 51: 201-213.

Zachleder V. 1984. Optimisation of nucleic acids assay in green and blue-green algae: extraction procedures and the light-activated diphenylamine reaction for DNA. *Arch Hydrobiol., 67: 313-328.*

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 435 - 444

MORPHOMETRIC COMPARISON OF TWO POPULATIONS OF *STENASELLUS RACOVITZAI* RAZZAUTI 1925 (CRUSTACEA, ISOPODA, ASELLOTA)

Debora DEL RY [1], Giuseppe MESSANA [2]

[1] ENEA - Centro di ricerca dell'ambiente marino. S. Teresa. La Spezia, Italy.
[2] CNR - Centro di Studio per la Faunistica ed Ecologia Tropicali, Firenze, Italy.

RIASSUNTO

L'isopode *Stenasellus racovitzai* Razzauti, 1925 fu scoperto per la prima volta nelle acque di una grotta toscana, e più tardi in ambiente carsico e iporreico anche in Corsica, Sardegna ed in una seconda località toscana. Appartiene alla famiglia, esclusivamente stigobia,degli Stenasellidae, che include generi presenti in aree tropicali, sub-tropicali e temperate calde.

Dati molecolari recenti hanno dimostrato che la situazione filogenetica di questa specie è complessa. Dal punto di vista genetico le popolazioni di Sardegna e Corsica sono diverse da quelle toscane, costituendo forse una diversa specie.

Le due popolazioni toscane di *Stenasellus* sono leggermente diverse geneticamente. Dato che i caratteri tradizionalmente utilizzati per l'analisi tassonomica sono apparentemente identici morfologicamente, sono stati analizzati, insieme ad altri, tramite una analisi morfometrica multivariata. Queste tecniche permettono una dettagliata descrizione del complesso meccanismo di selezione che opera nel processo di diversificazione geografica. Tecniche statistiche multivariate hanno rivelato una generale diversità tra le due popolazioni, alcuni parametri come l'area del IV pleopode ed il II pleopode maschile sono significativamente diversi e chiaramente separabili.

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque delle due stazioni indicano una differenza sostanziale. Questo dato rafforza le conclusioni che le differenze trovate siano reali e siano indice di una iniziale divergenza di alcuni importanti caratteri delle due popolazioni.

1. INTRODUCTION

The Stenasellidae, exclusively stygobitic Crustacea Isopoda, constitute a homogeneous taxonomic group widely distributed in tropical and temperate-warm areas. The genus *Stenasellus* includes 23 species present in the groundwaters of thePalearctic, Afrotropical and Oriental regions. One species of this genus, *S. racovitzai* Razzauti, 1925, is present in Tuscany in two localities: the "Buca del Danese" cave in

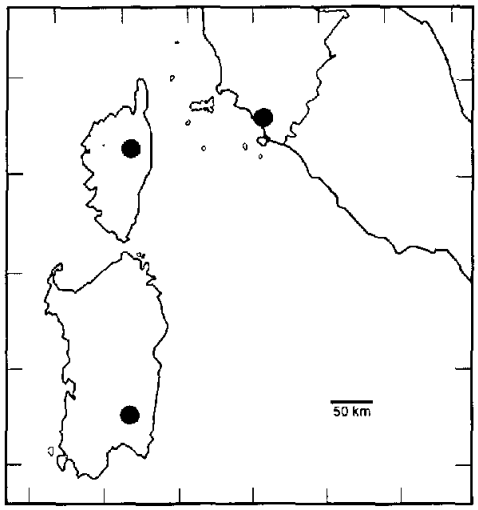


Fig. 1 - Distribution of the "racovitzai" group of *Stenasellus*.

the province of Grosseto where it was discovered in 1923 (Arcangeli, 1937-38; Racovitza, 1950) and the "Fontanile dei Cavalleggeri" situated in the Maremma Natural Park. Some populations of *Stenasellus* found in Corsica and Sardinia bave also been attributed to *S. racovitzai* (Fig. 1).

Recent electrophoretic studies of some enzymatic proteins in populations of *S. racovitzai* (Messana *et al,* 1995) have shown substantial genetic distances between the Sardinian, Corsican and Tuscan populations, large enough to justify the hypothesis of well differentiated species.

The Tuscan populations inhabit two "fossil islands" (Lanza, 1984) a short distance apart in an area that has undergone various paleogeographic and geoclimatic events. The numerous marine ingressions and regressions since the Pliocene led to the development of a large archipelago which became definitively reconnected with the mainland only in the Quaternary. These two groups exhibit small genetic differences and some morphological differences that are not easily quantifiable.

To define such differences more clearly, we have performed a multivariate morphometric study of some diagnostic characters. Indeed, although electrophoretic analysis is a potent mean of describing the polymorphism of natural populations it "...is not able to reveal in all their complexity those mechanisms of Darwinian selection operating in the processes of geographic diversification, which can be studied by means of morphometric analyses" (Corti & Loy, 1985).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Chemico-physical and microbiological analyses

To assess possible differences between the two Tuscan groundwaters populated by *Stenasellus racovitzai,* we carried out monthly assays, for about two years, at the Fontanile dei Cavalleggeri and, for comparison, at two nearby sites, "Vallone" and "Scoglietto", all situated in the Maremma Natural Park. For each assay, the following parameters were analyzed, both in the field and in the laboratory: quantity of dissolved oxygen, total hardness, temperature, pH and the concentrations of Calcium, Magnesium, Chlorine and Sulfate ions. Comparison of the resulting values with those for the other Tuscan site, Buca del Danese, was based on data already available in the literature (Camiciottoli, 1993).

At all sites 250 ml of water was collected for the microbiological analyses, according to current norms of sterility, then transported to Florence and analyzed within

12 h. The following tests were performed on each sample: Colimetry, Total bacterial load (TBL) and Streptococcometry.

2.2. Faunistic analysis

A study of the fauna in the three sites of the Maremma Natural Park was also carried out. At each assay, the organisms that remained within an artificial substrate, a cotton sheet placed on the bottom, were collected.

2.3. Morphometric analyses

We studied 20 males and 20 females from the Fontanile dei Cavalleggeri and from the Buca del Danese for a total of 80 animals. A series of linear measurements was performed all the whole animals with a binocular dissection microscope equipped with a micrometric eyepiece. For each animal, we then removed and made diagrams of the pleopods; these structures are important from a taxonomic point of view for the determination of possible species differences. The measurements relate both to the size of pleopods I, n and DI and to the areas of the respiratory surfaces of pleopods TV and V. The set of measures taken is reported in Fig. 2 and Tab.1.

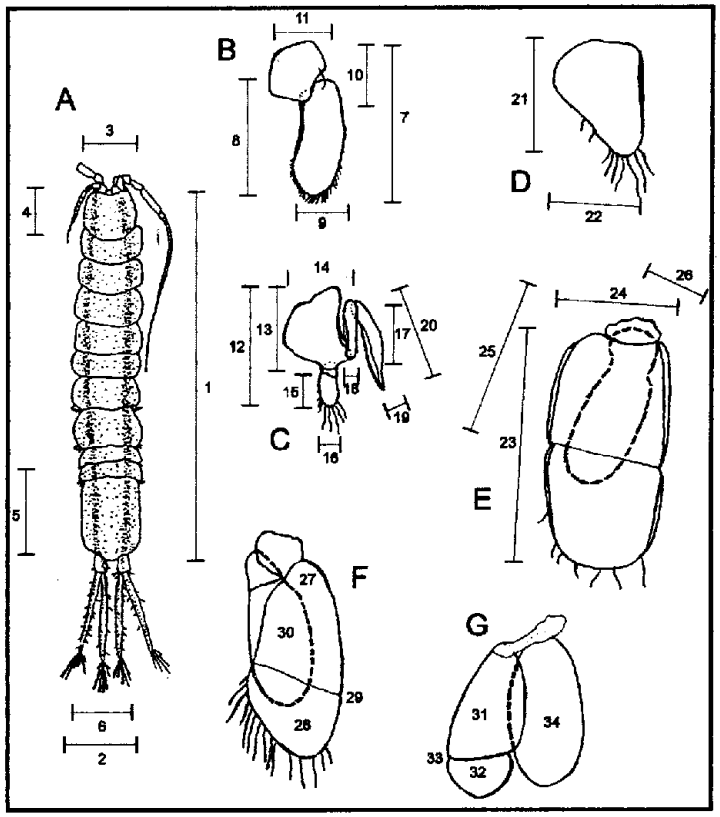


Fig. 2 - Morphometric measurements: A Whole animal; B Pleopod I ♂; C Pleopod II ♀; D Pleopod II ♂; E Pleopod III; F Pleopod IV; G Pleopod V

Both for the linear measures and areas, the arithmetic mean between the right and left pleopod was considered in order to avoid differences connected with bilateral asymmetry (Moroli, 1992).

The following statistical tests were then applied to all the measures:

- Kolmogorov Smirnov: to test for normality of the data.
- Mann-Whitney: to assess, on a univariate basis, whether there are significant variances in the samples.
- ANOVA: we used the MGLH (Multiple General Linear Hypothesis), a multivariate ANOVA procedure that allows to separate the variables step by step (stepwise backward method) on the basis of their level of significance in the discrimination.

A	1 - LUCOR	body length			
	2 - LACOR	body width			
	3 - LUCEF	cephalon length			
	4 - LACEF	cephalon width			
	5 - LUPLEOT	pleotelson length			
	6 - LAPLEOT	pleotelson width			
B	7 - ILUTOT	total length	C	21 - IILU	simp. + end. lenght
	8 - IESOLU	exopodite length		22 - IILA	simp. + end. width
	9 - IESOLA	exopodite width	E	23 - IIIESOLU	exopodite length
	10 - ISIMPLU	simpodite length		24 - IIIESOLA	exopodite width
	11 - ISIMPLA	simpodite width		25 - IIIENDLU	endopodite length
D	12 - IILUTOT	total length		26 - IIIENDLA	endopodite width
	13 - IIESOLU	exopodite length	F	27- IVARPESO	area proximal exopodite
	14 - IIESOLA	exopodite width		28- IVARDESO	area distal exopodite
	15 - IISIMLU	simpodite length		29- IVARTESO	area total exopodite
	16 - IISIMLA	simpodite width		30- IVAREND	area endopodite
	17 - IIENDILU	end. article I length.	G	31- VARPESO	area proximal exopodite
	18 - IIENDILA	end. article I width		32- VARDESO	area distal exopodite
	19 - IIENDIILA	end. article II width		33- VARTESO	area total exopodite
	20 - IIENDIILU	end. article II length		34- VAREND	area endopodite

Tab. 1 - List of the 34 measures taken (see Figure 2);. A= whole animal, B= male pleopod I, C= female pleopod II, D= male pleopod II, E= pleopod III, F= pleopod IV, G= pleopod V (simp= simpodite, end= endopodite).

- Principal components analysis (PCA): to examine the multivariate properties of the two samples. With PCA it is possible to determine various components, each of which explains a certain percentage of the total variance: PCI, relative to the size of the characters considered, PC2 and PCS, relative to their shape (Manly, 1986).

- Discriminant analysis: a multivariate procedure used to predict *a priori* the group to which each individual belongs on the basis of the measurements available.

3. RESULTS

3.1. Chemico-physical, faunal and microbiological results

Comparison of the annual means of the chemico-physical parameters of the Danese and Cavalleggeri groundwaters (Tab. 2) indicates a substantial difference between the sites, in particular for dissolved oxygen (DAN: 0.8 meq/l, CAV: 0.59 meq/l) and Chlorine ions (DAN: 10.3 meq/l, CAV: 20.54 meq/1).

Analysis of the fauna revealed the presence in both sites of the isopod *Stenasellus racovitzai* and the amphipod *Salentinella angelieri,* two thermophilic and euryhaline crustaceans; in both cases, the associated fauna is represented exclusively by rare Copepoda Cyclopoida.

The microbiological analyses revealed substantial similarity of the two groundwaters, as did comparison of the microrganisms isolated in the mud of the Buca del Danese cave (Pitzalis *et al.,* 1991; Sacco *et al.,* 1995) and on some cotton sheets placed in Fontanile del Cavalleggeri. The idea of such a comparison derived from the observation of a progressive increase in the number of Stenasellus found on the sheets, with a maximum of 85 after a period of about 4 months, within the Fontanile del Cavalleggeri. presumably the microrganisms that grew on the sheets acted as a trophic attraction for the animals (Magniez, 1970 e 1976).

Tab. 2 - Comparison between the two Tuscan sites where *Stenasellus racovitzai* is present (**Dan**: Buca del Danese, **CAV**: Fontanile dei Cavalleggeri. + presence, - absence). Values ± S.D.

		DAN	CAV
Chemico-physical analyses	**temperature**	**18°C ± 0.22**	**17.2°C ± 2.36**
	pH	**7.4 ± 0.3**	**7.59 ± 0.56**
	O.D. meq/l	**0.8 ± 0.05**	**0.59 ± 0.11**
	Ca^{2+} meq/l	**6.04 ± 0.74**	**8.79 ± 1.42**
	Cl^{-} meq/l	**10.3 ± 1.13**	**20.54 ± 10.7**
	$SO4^{2-}$ meq/l	**6.5 ± 0.99**	**10.5 ± 2.88**
	Dto meq/l	**8. ± 1.1**	**13.27 ± 2.14**
taxa	**Isopoda**		
	Stenasellus racovitzai	+	+
	Amphipoda		
	Salentinella angelieri	+	+
microrganisms isolated in the waters	**Enterobacteriaceae**		
	Enterobacter	+	+
	Rahnella	+	+
	Escherichia	+	+
microrganisms isolated in the mud (DAN) and on the sheets (CAV)	**Pseudomonadaceae**		
	Pseudomonas	+	+
	Vibrionaceae		
	Aeromonas	+	+
	Micrococcaceae		
	Staphylococcus	+	+
	Molds		
	Penicillum	-	+
	Aspergillus	+	-

It can be seen that there are large differences between the two cave sites inhabited by *Stenasellus racovitzai.* Indeed such differences are less marked when Fontanile dei Cavalleggeri is compared with Vallone and Scoglietto (Tab. 3), the neighboring sites.

The microbiological analyses demonstrated substantial homogeneity among the three nearby sites of the Maremma Park (Tab. 3). Nevertheless, we identified *Penicillum* spp. on SAB (Saburoud Agar) medium selective for molds only in the water from the Fontanile dei Cavalleggeri.

The fauna of Cavalleggeri is different from that of the two neighboring sites of the Park, in which a stygophilic isopod *Proasellus coxalis* is present, also in association with *Niphargus longicaudatus* in Vallone.

3.2. Statistical analysis

The effective normality of the distribution of the morphometric variables was tested with the Kolmogorov-Smirnov test. The distribution was normal ($p>0.5$) in 95% of the measurements.

Tab. 3 - Comparison between Cavalleggeri and the two neighboring sites of the Maremma Natural Park (**CAV**: Fontanile di Cavalleggeri, **SCO**: Scoglietto, **VAL**: Vallone). Values ± S.D.

		CAV	SCO	VAL
Chemico-physical analyses	temperature °C	17.2 ± 2.36	16.3 ± 2.4	15.6 ± 3.1
	pH	7.59 ± 0.56	7.68 ± 0.4	7.86 ± 0.23
	O.D. meq/l	0.59 ± 0.11	0.55 ± 0.2	0.13 ± 0.06
	Ca^{2+} meq/l	8.79 ± 1.42	6.14 ± 1.45	7.05 ± 1.1
	Cl^{-} meq/l	20.54 ± 10.7	11.28 ± 2.4	9.39 ± 2.34
	Mg^{2+} meq/l	4.48 ± 1.63	2.25 ± 1.0	1.55 ± 1.36
	$SO4^{2-}$ meq/l	10.5 ± 2.88	4.32 ± 1.74	4.75 ± 2.57
	Dto meq/l	13.27 ± 2.14	8.17 ± 1.27	8.69 ± 0.88
taxa	Isopoda			
	Stenasellus racovitzai	+	-	-
	Proasellus coxalis	-	+	+
	Amphipoda			
	Salentinella angelieri	+	-	-
	Niphargus longicaudatus	-	-	+
microrganisms isolated in the waters	Enterobacteriaceae			
	Enterobacter	+	+	+
	Serratia	-	+	+
	Escherichia	+	+	+
	Rahnella	+	+	-
	Acinetobacter	-	+	-
	Vibrionaceae			
	Aeromonas	-	-	+
microrganisms isolated on the sheets	Pseudomonadaceae			
	Pseudomonas	+	+	+
	Vibrionaceae			
	Aeromonas	+	+	+
	Micrococcaceae			
	Staphylococcus	+	+	-
	Molds			
	Penicillum	+	-	-
	Aspergillus	-	+	+

The Mann-Whitney test applied to both sexes revealed strong sexual dimorphism, always with highly significant differences ($P<0.001$). When the sexes were separated, the differences between the two cave sites decreased, although they remained large for 98% of the characters in males ($P<0.02$) and for 99% in females

ANOVA allowed selection of the variables, for each sex, with greatest weight (greatest variances) in the discrimination of animals on the basis of the locality (Tab. 4 and 5). It can be seen that pleopod n has a very important role in the separation in males.

The selected characters common to both sexes are: body length, cephalon width, length of pleopod III and area of pleopod IV (distal, respiratory area).

Tab. 4 - ANOVA conducted on the males on the basis of the locality (N=40)

MEASURE	F	P.
LUCOR	7.588	<0.001
LACOR	2.41	0.025
LACEF	-13.811	<0.001
ILUTOT	-2.408	0.025
IESOLU	7.795	<0.001
IESOLA	-5.458	<0.001
ISIMPLA	-5.418	<0.001
IILUTOT	11.219	<0.001
IIESOLU	4.002	<0.001
IIESOLA	-5.867	<0.001
IIENDILA	-2.715	0.013
IIENDIILU	-6.418	<0.001
IIENDIILA	-2.037	0.054
IIIESOLU	4.040	<0.001
IIIESOLA	-6.678	<0.001
IVARDESO	4.557	<0.001
IVAREND	-2.846	0.011

Tab. 5 - ANOVA conducted on the females on the basis of the locality (N=40)

MEASURE	F	P.
LACOR	2.948	0.000
LUCEF	-2.788	0.010
LACEF	-5.104	<0.001
LAPLEOT	2.842	0.010
IIIESOLU	4.635	<0.001
IVARDESO	3.108	0.005
IVARTESO	-4.071	<0.001
IVAREND	3.661	0.000
VARDESO	-2.485	0.025
VARPESO	-2.468	0.025
VAREND	-2.800	0.010

Tab. 6 - PCA performed on. males In brackets the percentage of the total variance explained by each component (N=40)

MEASURE	PC1 (67.2%)	PC2 (11.4%)	PC3 (6.2%)
LUCOR	0.877	-0.326	-0.110
LACOR	0.911	0.211	0.047
LACEF	0.797	-0.346	0.113
ILUTOT	0.779	0.284	-0.470
IESOLU	0.780	0.365	-0.346
IESOLA	0.783	-0.442	-0.231
ISIMPLA	0.753	-0.518	-0.031
IILUTOT	0.915	0.076	0.056
IIESOLU	0.826	0.278	0.245
IIESOLA	0.688	0.422	-0.429
IIENDILA	0.882	0.020	-0.154
IIENDIILU	0.824	-0.187	0.009
IIENDIILA	0.579	-0.715	-0.066
IIIESOLU	0.897	0.233	0.264
IIIESOLA	0.901	-0.043	0.286
IVARDESO	0.833	0.335	0.339
IVAREND	0.833	0.134	0.284

The Principal Components Analysis applied separately to the sexes was performed on the measures selected by ANOVA. In both cases it was possible to separate the animal s from the two sites with a shape-related component: PC2 for the males, PC3 for the females (Tab. 6 and 7; Fig. 4 and 5).

Therefore, the substantial differences between the two populations do not regard size but rather shape (association length, width, area).

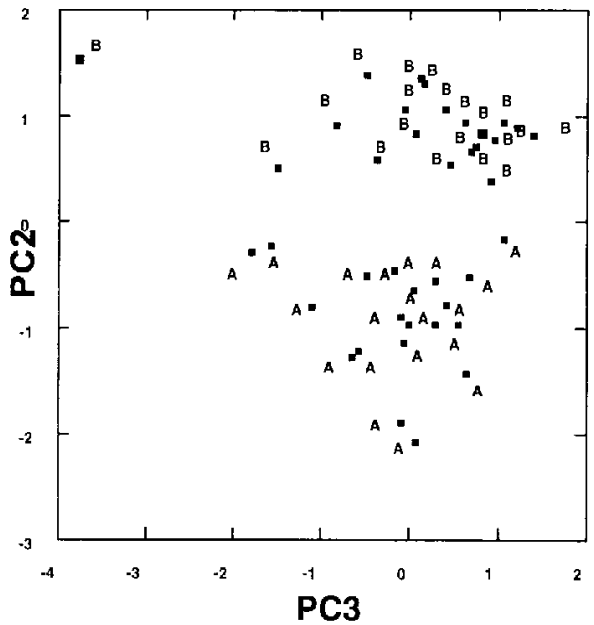


Fig 4. - PCA of the males: A = Danese, B = Cavalleggeri. The separation occurs along the axis of PC2, a shape-related component

Tab. 7 - PCA performed on females. In brackets the percentage of the total variance explained by each component (N=40)

MEASURE	PC1 (84.1%)	PC2 (6.6%)	PC3 (4.7%)
LACOR	0.936	0.063	-0.131
LUCEF	0.926	0.169	0.189
LACEF	0.902	0.266	0.291
LAPLEOT	0.954	0.148	0.011
IHESOLU	0.781	-0.583	-0.218
IVARDESO	0.976	0.012	-0.044
IVARTESO	0.968	0.110	0.089
IVAREND	0.878	-0.123	0.136
VARDESO	0.945	-0.071	-0.154
VARPESO	0.895	0.057	0.056
VAREND	0.887	-0.115	-0.411

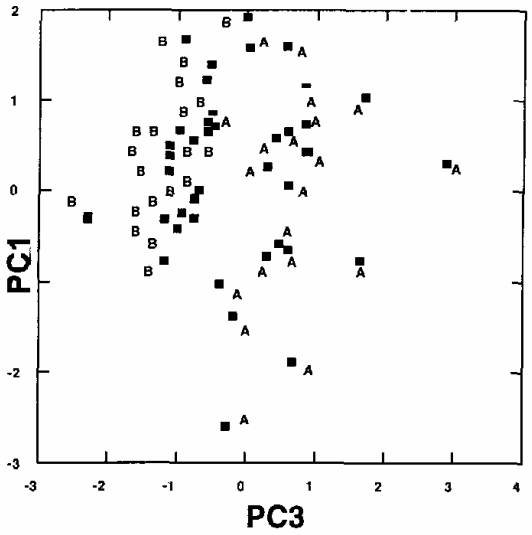


Fig. 5 -. PCA of the females: A= Danese, B= Cavalleggeri. The separation occurs along the axis of PC3, a shape-related component.

Tab. 8. - Sexes separate. Columns: animals predicted Rows: provenience

	DAN	CAV	tot.
	20	0	20
CAV	0	20	20
tot.	20	20	40

Tab. 9. - Total. Columns: animals predicted. Rows: provenience

	DAN	CAV	tot.
DAN	38	2	40
CAV	4	36	40
tot.	42	38	80

With regard to the discriminant analysis applied to these measures, the result of the prediction of the group to which the specimens belonged, i.e. Cavalleggeri or Danese, was 100% for both sexes, analyzed separately (Tab. 8).

The some analysis was performed on the total of the populations, i.e. the 40 individuals from Danese and the 40 from Cavalleggeri (Tab. 9), considering only the characters valid for both sexes: LUCOR, LACOR - length and width of the body, LUCEF, LACEF - length and width of the cephalon, LAPLEOT - width of the pleotelson, IHESOLU - length of the exopodite of pleopod HI, IVARDESO - distal area of the exopodite of pleopod IV, IVARENO - total area of the endopodite of pleopod IV, VAREND - total area of the endopodite of pleopod V. In this case, an error of prediction of 7.5% was introduced, with 2 individuals erroneously attributed to Cavalleggeri and 4 to Danese.

4. CONCLUSIONS

The results of the various multivariate statistical tests indicate a general diversity between the Buca del Danese and Fontanile dei Cavalleggeri populations; they are significantly different in some characters, such as the area of pleopod IV and various parameters of the male pleopod II.

Some differences have already been found in an electrophoretic study of certain enzymatic proteins (Messana *et al.,* 1995). The results revealed a modest genetic divergence (low value of genetic distance D=0.167) (Nei, 1978) and an index of genic identity with values dose to one (1= 0.846 Cavalleggeri vs. Danese) (Nei, 1978).

Nevertheless, the observation of the morphology of the characters classically utilized for taxonomy, had not revealed perceptible differences between the two groups, which have been evidenced only through the morphometric mesurements.

The results of these various studies would seem to indicate that, although the two populations belong to the same species, they are beginning to exhibit some differences. What these are due to is not easy to identify with certainty. However, the prime candidate is the separation of the two localities, which probably occurred only in recent times and led to the establishment of different chemico-physical characteristics of the two groundwaters (i.e. Cl^-, Dto, $SO4^2$). This separation would have favored the acquisition of different adaptations in the two populations (cf. the different respiratory areas and the different levels of dissolved oxygen) and would have permitted the animals, originally belonging to the same population, to start developing certain of their characteristics independently, thus beginning a process of speciation that is still in its initial stages.

Further investigations of the Sardinian, Corsican and Tuscan populations will permit further clarification of the relations existing within the "racovitzai" group.

AKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Dr. C. Sacco of the University of Florence who provided the microbiological analyses and Dr L. Camiciottoli who gave valuable help in the field work.

REFERENCES

Arcangeli A. 1937-38. *Stenasellus Racovitzai* Razzauti, Crostaceo Isopodo acquatico cavernicolo italiano. La famiglia Stenasellidae. *Boll. Musei zool. anat. comp.* Torino, 66(3): 17-50.

Camiciottoli L. 1993. Aspetti del metabolismo respiratorio in *Stenasellus racovitzai* Razzauti, 1925 (Crustacea, Isopoda, Stenasellidae). *Tesi di laurea* Univ. Di Firenze.

Corti M. & Loy A. 1985. Morfometria multi variata and variazione geografica. *Biogeogr.,* 6: 91-1 10.

Lanza B. 1984. Sul significato biogeografico delle isole fossili, con particolare riferimento all'arcipelago pliocenico della toscana. *Atti Soc. Nat. Milano,* 125 (3,4): 145-158.

Magniez G. 1970. Sur un groupe original de Crustacés des eaux souterraines, les *Stenasellidae* (Isopodes, Asellotes). *Spelunca, Mémoire n.7. Act. du 9 Congrés Nat. de Spéol:* 133-136

Magniez G. 1976. Contribution a la connaissance de la biologie des Stenasellidae (Crustacea, Isopoda, Asellota des eaux souterraines). *Thèse de doct.* Sci. Nat., Univ. Dijon.

Manly B.F.J. 1986. Multivariate Statistical Methods: A Primer. Chapman and Hall, New York.

Messana G., Cobolli Sbordoni M., De Matthaeis E., Ketmaier V. & Argano R. 1995. A preliminary essay on the biogeography of Italian stenasellids. *Mem. Biospéol.,* XXII: 109-114.

Moroli M. 1992. Uno studio morfometrico multi variato delle variazioni in *Proasellus coxalis* (Dollfus, 1892) (Crustacea, Isopoda, Asellota). *Tesi dott.* Univ. "La Sapienza", Roma.

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

Pitzalis A., Margheri M.C., Messana. G. 1991. A preliminary observation on the microscope from the mud in a Tuscan cave: "La Buca del Danese" (Grosseto, Italy). *Stygol.,* 6(3) : 143-147.

Racovitza E.G. 1950. Asellidcs, première série: *Stenasellus. Archives de zool expér. et gén.,81:* 1-94.

Razzauti A. 1925. Sopra un nuovo crostaceo troglobio italiano *(S. racovitiai* sp. n.). Comunicazione preliminare: *Atti and Memorie della R. Accad. Petrarca di Se. Leti, and Arti inArezzo.* Vol 5: 27-38.

Sacco C. Ilardi C., Marchi C. & Messana G. 1995. Aerobic microbic flora from the Tuscan cave "La Buca del Danese" and its relationships with *Stenasellus racovitzai. Mem. Biospéol.,* XXII: 125-128.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 445 - 455

INFLUENZA DI ATTIVITA' DI MARICOLTURA SU UN AMBIENTE COSTIERO DELLA SICILIA NORD-OCCIDENTALE (GOLFO DI CASTELLAMMARE - TRAPANI)

Eugenia FAVALORO, Gianluca SARÀ, Antonio MAZZOLA

Dipartimento di Biologia Animale dell'Università di Palermo, Via Archirafi, 18, 90123 Palermo

ABSTRACT

To gather information on the influence of an experimental system of mariculture in the Gulf of Castellammare (North-west Sicily), water and sediment samples were collected among august and december 1994, in 3 stations around the cage with *Seriola dumerili* (11 specimens per me; total biomass: 1057 kg). The stations were chosen in order to know the magnitude of waste flux coming from the fish cultivation. Determinations of the total organic content and of the photosyntethic pigments (chlorophyll-a and phaeopigments) were performed either on suspended and sediment material. At the same time, the main environmental parameters (temperature, salinity, dissolved oxygen) were measured. These parameters show a clear seasonality as particulate and sediment chloropigments. Low algal biomass (chlorophyll-a concentration) were observed both in suspended and sediment pools as a confirmation of the oligotrophy of the site. Particulate and sediment organic matter didn't show difference between station, depth or time, while some components (nitrite and nitrate) of dissolved inorganic nitrogen show significative high concentrations around the cage. The most important chemical-physic and trophic parameters show a tipical seasonal tyrrenian pattern. It is possible to suppose that seasonal mariculture activity in a oligotrophic area show limited influence on the surrounding environment.

1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo della maricoltura in gabbie galleggianti nelle acque costiere mediterranee ha aperto un acceso dibattito sulle alterazioni che gli allevamenti ittici possono provocare all'ambiente marino (Rosenthal *et al.,* 1987; Johnsen *et al.,* 1993). Il problema che si era già posto per i reflui degli impianti a terra (Ackefors 1986; Gowen & Bradbury, 1987) si è complicato maggiormente per l'impossibilità di utilizzare i sistemi di lagunaggio (Shpigel *et* al., 1993). L'area in cui vengono posizionate le gabbie non può essere circoscritta e i sedimenti di deposito non possono essere asportati. Inoltre l'arricchimento in nutrienti, derivante dalle feci e dal mangime non consumato, può

interessare anche zone più ampie soprattutto se si tratta di aree marine a basso idrodinamismo come baie o fiordi (Seymour & Bergheim, 1991). L'influenza dell'allevamento può essere circoscritta alla sola area dell'impianto, se si tratta di un piccolo insediamento con modeste biomasse allevate; si può invece avere l'interessamento di un'area più ampia se si tratta di più impianti e se questi sono ubicati in baie come la maggior parte delle piscicolture greche. L'influenza può assumere un carattere ancora più ampio quando gli allevamenti si cumulano con altre attività costiere impattanti o quando la biomassa allevata raggiunge valori elevati in zone marine non sufficientemente ricambiate, come nel caso delle salmonicolture dei fiordi (Aure & Stigebrandt, 1990). Nell'ambiente circostante l'impatto, per una estensione limitata o molto vasta, si osserva una alterazione della torbidità, una variazione della composizione specifica della comunità degli organismi bentonici, della concentrazione dell'ossigeno disciolto e nei casi più gravi anche un'alterazione dei profili delle temperature (Beveridge, 1984; Phillips, 1985). I rischi di degrado degli ecosistemi marini provocati da un dissennato ampliamento delle maricolture in alcune zone, hanno stimolato la ricerca a mettere a punto metodi per una ecocompatibilità degli impianti (Braaten & Dahle 1988; Folke & Kautsky, 1989; Gowen *et al.,* 1989). Sono state infatti sviluppate tecnologie per spostare i parchi di gabbie in zone il più possibile lontano dalle coste, dove una maggiore diluizione e un più elevato idrodinamismo riducono al minimo lo stress per l'ambiente (Odum, 1985).

In questo lavoro viene descritta una ricerca svolta su un allevamento di piccole dimensioni, che per la specie allevata può essere considerato stagionale, e con una influenza sull'ambiente riconducibile al modello d'impatto di tipo interno (Silvert, 1992). L'obiettivo è stato quello di verificare se l'entità dell'impatto circoscritto alla sola zona di immersione della gabbia rendesse proponibile una simile maricoltura, anche in aree costiere sottoposte a tutela, come parchi e riserve marine. Per tale motivo è stata scelta una specie a rapida crescita come la ricciola *(Seriola dumerili)* che riduce al minimo il tempo dell'allevamento e una gabbia a totale immersione, che oltre ad eliminare l'impatto visivo, elimina i fenomeni di inquinamento superficiale dovuto ai grassi del mangime.

2. MATERIALI E METODI

Le prove sperimentali di allevamento sono state effettuate tra l'estate del 1994 e il gennaio del 1995 nel Golfo di Castellammare (LAI 38°02’31’’; LONG 12°55’28’’) (Sicilia nord-occidentale) in un'area a circa 1000 m dalla costa, all'interno di un sistema di barriere artificiali. E' stata utilizzata una gabbia "a lanterna" di ca. 90 mc (4,5 m, h 5 m, rete a maglia da 12 mm) che è stata ancorata alla barriera su un fondale di 18 m, a circa 5 m dal fondo (Fig. 1). Il fondale a sabbie fini siltose è caratterizzato da chiazze alternate con facies a *Cymodocea.* Tra il 30 luglio e il 30 agosto sono state seminati in gabbia esemplari di ricciola *(Seriola dumerili)* ad una densità di 11 ind./mc (Tab. 1). Con cadenza settimanale sono stati effettuati i prelievi dei campioni d'acqua lungo la

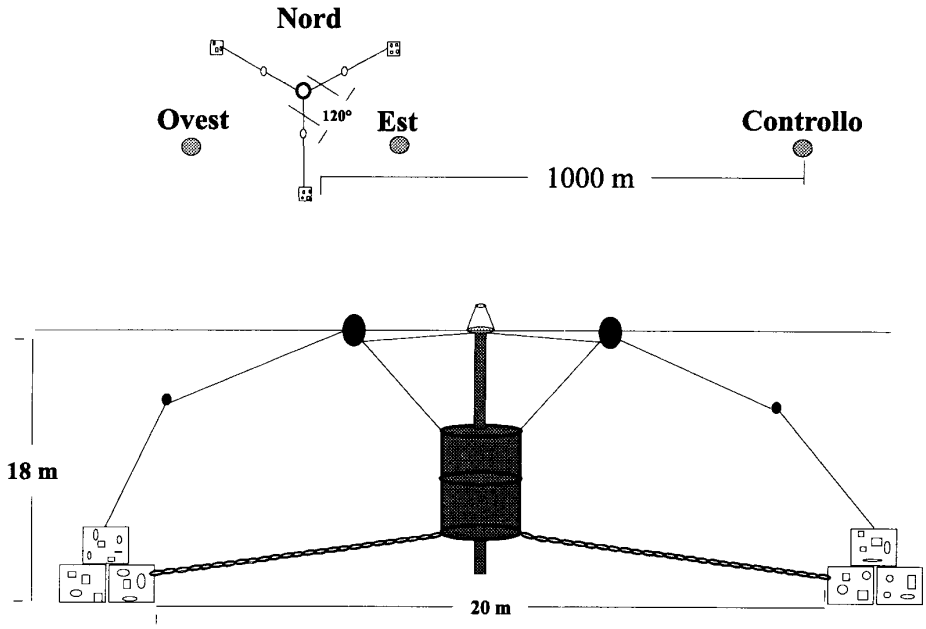


Fig. 1 - Rappresentazione schematica del sistema di allevamento

Tab. 1 - Parametri che hanno caratterizzato l'allevamento

Data	Biomassa	Alimento	Densità
	(kg)	(kg)	(kg/m^3)
30-ago-94	104,00	114,00	1,39
15-set-94	126,40	195,00	1,69
30-set-94	371,20	363,50	4,95
15-ott-94	620,00	440,50	8,27
30-ott-94	623,20	508,50	8,31
15-nov-94	624,00	400,00	8,32
30-nov-94	771,20	398,00	10,28
15-dic-94	919,20	465,00	12,26
30-dic-94	375,15	245,00	5,00
15-gen-95	138,70	75,00	1,85
Valori finali	1057	3308	5,28

colonna d'acqua: in superficie, a -5 m e vicino al fondo (-15 m), in due punti circostanti la gabbia (est ed ovest) ed in un terzo punto (controllo) individuato a circa 1000 m ad est della gabbia sulla stessa batimetrica. Negli stessi tre punti con cadenza mensile sono stati effettuati prelievi di sedimento con carote manovrate da operatore subacqueo. Temperatura delle acque, salinità, pH, ossigeno disciolto sono stati misurati con una sonda multiparametrica (Hydorlab Inc.); i pigmenti clorofilliani (estrazione in acetone

90%) sono stati calcolati secondo Lorenzen & Jeffrey (1980) per il materiale in sospensione e secondo Danovaro & Fabiano (1992) per i sedimenti; le analisi dell'azoto inorganico disciolto e degli ortofosfati sono state effettuate secondo Aminot & Chaussepied (1983); la materia totale in sospensione (TSM), la sua componente organica totale (TOM) e la componente inorganica totale (TIM) sono state determinate per ignizione, in accordo con Strickland & Parsons (1972); la materia organica totale nei sedimenti è stata determinata secondo Parker (1983). I dati di acqua e sedimento elaborati con l'Analisi della Varianza (Sokal & Rolhf, 1981) usando come effetti i fattori "tempo", "profondità" e "stazioni", sono stati trasformati, quando necessario, per soddisfare gli assunti della ANOVA. Quando sono state osservate differenze significative ($p<0.05$) per uno degli effetti, le medie sono state analizzate tramite il *test* di comparazione multiplo di Tukey (Sokal & Rolhf, 1981).

3. RISULTATI

I valori dei parametri chimico-fisici, trofici delle acque e dei parametri dei sedimenti ed i risultati dell'analisi della varianza sono riportati nelle tabelle 2, 3, 4 e 5.

Tab. 2 - Valori medi dei parametri chimico-fisici e trofici della colonna d'acqua e dei sedimenti registrati durante il periodo dell'allevamento in tutte le stazioni (± d. s. = deviazione standard)

Parametri	Media	± d. s.	Minimo	Massimo
Temperatura (°C)	20,74	3,02	16	26
Salinità (‰)	37,95	0,14	37,65	38,12
Ossigeno disciolto (% sat,)	85,66	11,99	64,5	97,50
pH	8,31	0,11	8,18	8,49
Trasparenza (Secchi)	10,50	5,4	5,0	18
Clorofilla (µg/l)	0,41	0,30	0,04	0,96
Feopigmenti (µg/l)	0,41	0,39	0	1,89
Ortofosfati (µg-a/l)	1,24	0,09	1,11	1,46
Ammoniaca (µg-a/l)	2,99	2,14	1,13	13,71
Nitriti (µg-a/l)	0,10	0,07	0	1,03
Nitrati (µg-a/l)	1,06	0,78	0,06	3,74
Materia Organica sospesa (mg/l)	1,09	0,50	0,66	1,47
Materia Inorganica sospesa (mg/l)	1,53	2,36	0,11	12,70
Materia Organica sedimenti (mg/g)	12,58	0,64	11,84	14,10
Clorofilla-a sedimenti (µg/g)	0,36	0,39	0,001	0,45
Feopigmenti sedimenti (µg/g)	0,23	0,09	0,0001	0,45

Tab. 3 - Risultati dell'analisi della Varianza sui parametri della colonna d'acqua (*F/P* = Fisher/livello di significatività) [* p≤ 0.05; ** p≤ 0.01; *** p≤ 0.001); ns = differenza non significativa (P>0.05)]

Variabili	**Tempo (g. l. = 3,77)** *F/P*	**Stazione (g. l. = 2,78)** *F/P*	**Profondità (g. l. = 2,78)** *F/P*
Clorofilla-a	3.0/0,04 (*)	0.22/0,80 (ns)	0.23/0,79 (ns)
Feopigmenti	6.76/0,001 (***)	0.06/0,94 (ns)	0.21/0,81 (ns)
Ortofosfati	10.2/0,001 (***)	0.64/0,53 (ns)	0.29/0,75 (ns)
Ammoniaca	3.69/0,02 (**)	1.72/0,18 (ns)	0.08/0,91 (ns)
Nitriti	1.14/0,34 (ns)	3.47/0,03 (**)	0.35/0,70 (ns)
Nitrati	1.53/0,21 (ns)	4.90/0,001 (***)	0.15/0,85 (ns)
Materia Organica sospesa	2.28/0,08 (ns)	0.65/0,52 (ns)	0.74/0,78 (ns)
Materia Inorganica sospesa	1.18/0,32 (ns)	0.87/0,42 (ns)	2.04/0.14 (ns)

Tab. 4 - Analisi della Varianza dei parametri della colonna d'acqua: analisi degli effetti. (p-level = livello di significatività) [* p≤ 0.05; ** p≤ 0.01; *** p≤ 0.001); ns = differenza non significativa (P>0.05)]

Effetto	**df 1**	**df 2**	**p-level**	
profondità	16	76	0.410772	ns
tempo	24	110	9.19E-07	(***)
stazioni	16	76	0.06	ns
profondità x tempo	48	191	0.9599	ns
profondità x stazioni	32	141	0.961404	ns
tempo x stazioni	48	191	0.851296	ns
i tre effetti combinati	96	266	0.99986	ns

Tab. 5 - Risultati dell'analisi della Varianza sui parametri dei sedimenti (*F/P* = Fisher/livello di significatività) [* p≤ 0.05; ** p≤ 0.01; *** p≤ 0.001); ns = differenza non significativa (P>0.05)]

Variabili	**Tempo (g. l. = 3,12)** *F/P*	**Stazione (g. l. = 3,12)** *F/P*
Materia Organica sedimenti	0.62/0,61 (ns)	0.25/0,86 (ns)
Clorofilla-a sedimenti	3.59/0,04 (*)	0.52/0,67 (ns)
Feopigmenti sedimenti	1.99/0,17 (ns)	0.27/0,84 (ns)

Le concentrazioni dei pigmenti clorofilliani totali (Fig. 2) sono significativamente più elevate tra settembre e novembre ($n = 80$; $p < 0.05$); non si registrano differenze significative spaziali (stazioni) e lungo la colonna d'acqua (profondità). Gli ortofosfati (Fig. 3) non mostrano differenze significative lungo gli stessiassi; la concentrazione

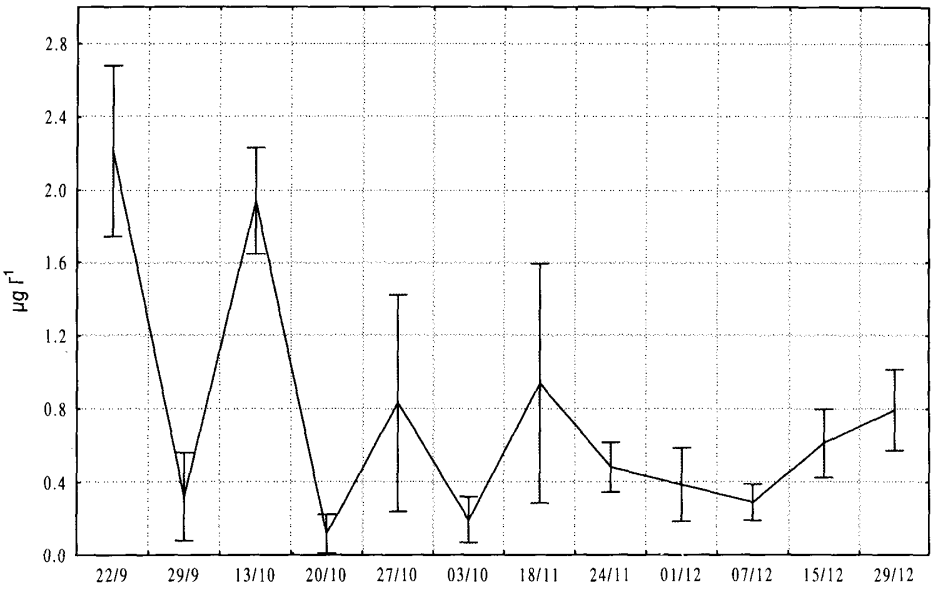


Fig. 2 - Distribuzione dei valori medi dei pigmenti clorofilliani totali

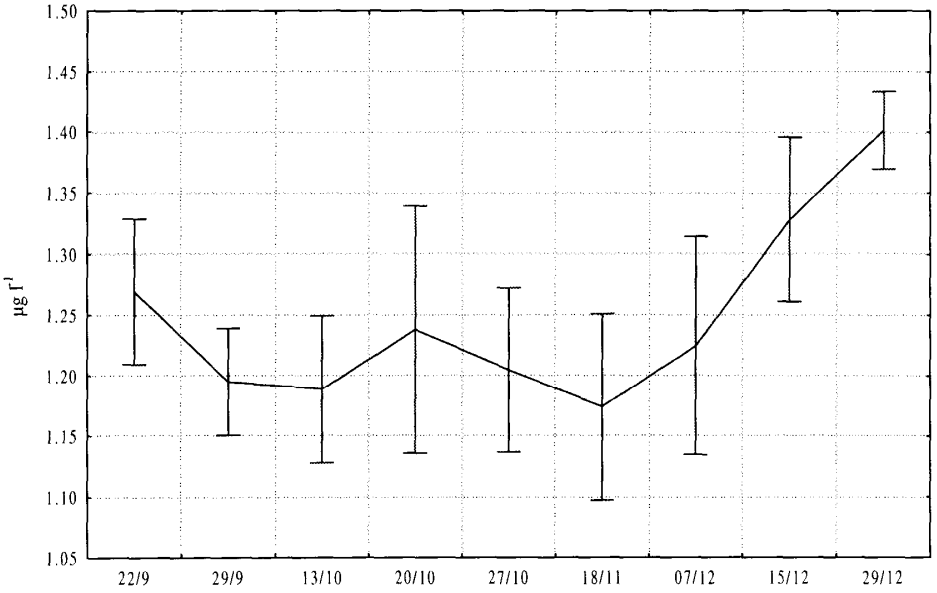


Fig. 3 - Distribuzione dei valori medi degli ortofosfati

media è maggiore in settembre e dicembre (n = 80; p < 0.05). Le concentrazioni di azoto inorganico disciolto (Fig. 4 non mostrano particolari *pattern* temporali se non per i picchi significativi (n = 80; p < 0.05) dell'azoto ammoniacale registrati il 20 ottobre e il 18 novembre. Le concentrazioni di nitriti sono significativamente più elevate nella

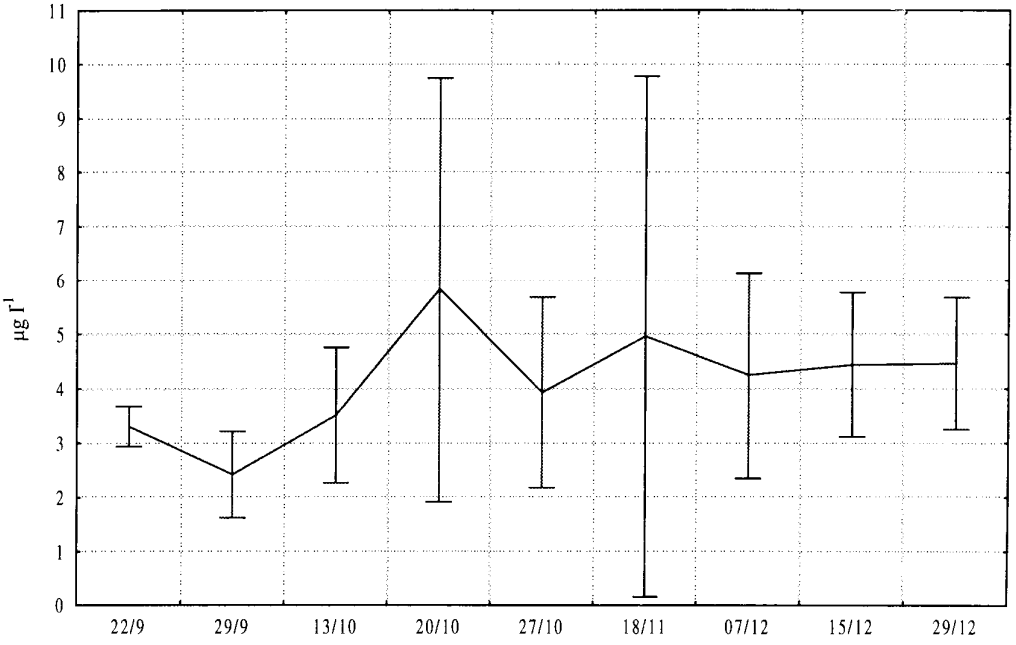


Fig. 4 - Distribuzione dei valori medi dell'azoto inorganico disciolto

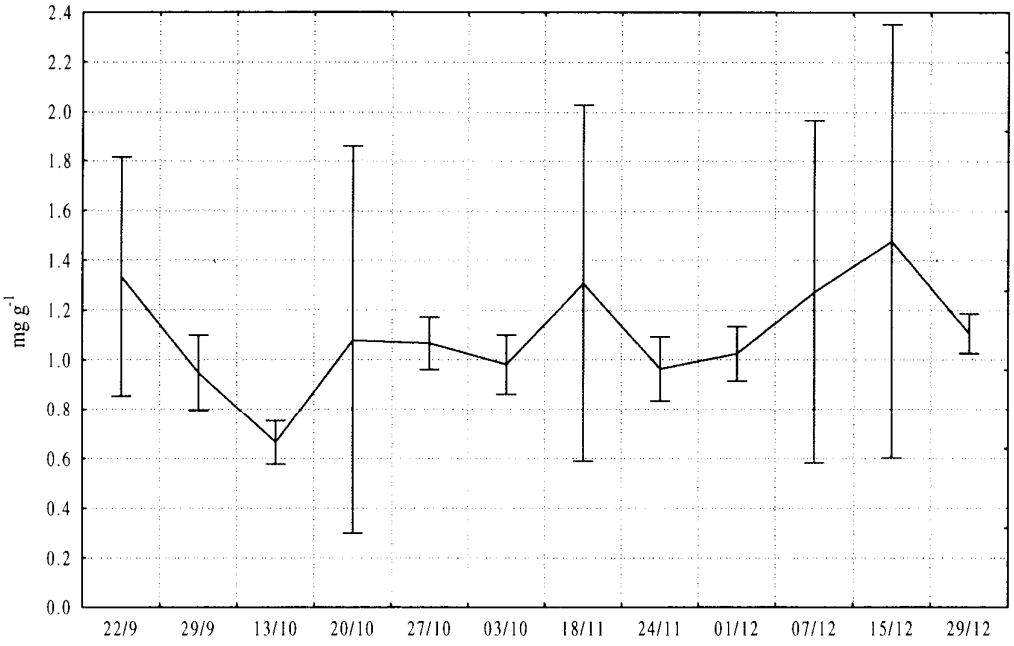


Fig. 5 - Distribuzione dei valori medi della materia organica in sospensione

stazione controllo (n = 80; p < 0.05) rispetto alle concentrazioni più basse, registrate nelle stazioni ad ovest e ad est della gabbia. Le concentrazioni di nitrati risultano significativamente maggiori (n = 80; p < 0.05) nelle stazioni ovest ed est, mentre sono più basse nella stazione controllo. La materia totale in sospensione, la componente organica (Fig. 5) e la componente inorganica (Fig. 6) non mostrano differenze significative nel confronto sia tra le stazioni che tra mesi e profondità. La materia organica (Fig. 7) nei sedimenti mostra picchi di concentrazione non significativi in

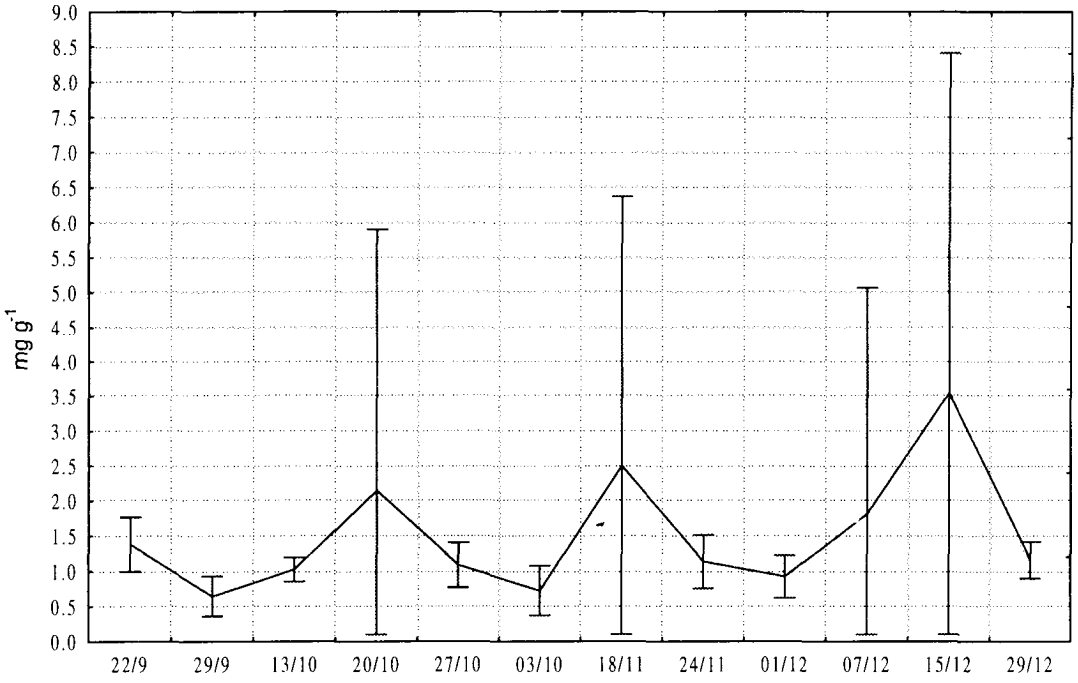


Fig. 6 - Distribuzione dei valori medi della materia inorganica in sospensione

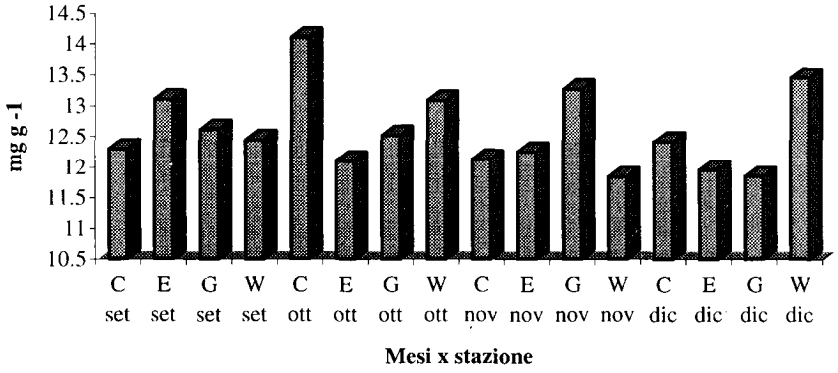


Fig. 7 - Distribuzione dei valori medi della materia organica nei sedimenti

ottobre nella stazione controllo, sotto la gabbia in novembre e nella stazione ovest in dicembre. La materia organica nei sedimenti non rappresenta mai più dell'1.41% (media: 1.26 ± 0.06 %) del totale. La concentrazione di clorofilla-a (Fig. 8) nei sedimenti è significativamente più elevata in tutto il sistema nei mesi di settembre ed ottobre ($p < 0.05$). I feopigmenti (Fig. 8) non mostrano distribuzioni particolari

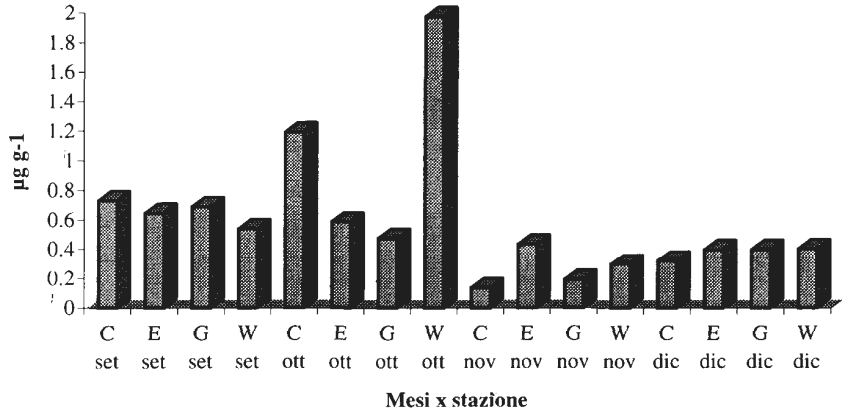


Fig. 8 - Distribuzione dei valori medi dei pigmenti clorofilliani nei sedimenti

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I sistemi di maricoltura *open-sea* in gabbia sommersa offrono la possibilità di effettuare degli allevamenti in aree completamente prive di ripari e pertanto ampliano gli orizzonti nello sviluppo di questa tecnica. Non è ben noto, almeno per l'area sud tirrenica, quali possano essere le alterazioni indotte sulla colonna d'acqua e sui sedimenti dalla gestione di questi sistemi. Con questa esperienza si è voluto verificare quali variazioni può provocare un modulo di allevamento sommerso nel micro-ambiente circostante. Dai risultati ottenuti si evince che nel suo complesso il sistema di allevamento testato sembra non aver prodotto effetti rilevanti sull'ambiente circostante. I più significativi parametri della colonna d'acqua e dei sedimenti hanno mostrato una variabilità che è per lo più correlabile con la stagionalità (Tab. 4) tipica delle acque del Golfo di Castellammare (Sarà & Mazzola, *in press).* La componente autotrofa della materia organica presenta dei picchi nei mesi lardo-estivi correlabile con le normali attività algali tipiche del periodo (Sarà, 1994) e caratterizza l'area come oligotrofica. Le concentrazioni di materia organica sono tipiche di aree costiere ben ricambiate. L'influenza dell'allevamento lungo un gradiente di distanza dall'impianto è osservabile solo attraverso la presenza di nitriti e nitrati che presentano gradienti di concentrazione opposti lungo l'asse gabbia-controllo, fenomeno spiegabile con la dinamica delle correnti; per tutti gli altri parametri è evidente un effetto "diluizione". La scelta di

posizionare la gabbia ad una certa profondità ha limitato la presenza di materia inorganica in sospensione solo agli strati più profondi della colonna d'acqua maggiormente influenzati dai fenomeni di risospensione tipici dell'area (Sarà, 1994). I test condotti sui parametri dei sedimenti (materia organica e pigmenti clorofilliani), hanno mostrato il quasi inesistente accumulo di materia organica. Le concentrazioni di pigmenti sono mediamente più basse rispetto a quanto riscontrato in altre aree mediterranee (Danovaro & Fabiano, 1992). E' possibile pertanto supporre che ambienti oligotrofici come il sito da noi scelto possano tollerare sistemi di allevamento analoghi a quello testato (di tipo stagionale e con limitata biomassa allevata) senza che l'ambiente circostante ne abbia a risentire. Nell'ipotesi di un sistema più ampio, come numero di gabbie e di biomassa allevata, andrebbe tenuto in considerazione l'effetto di sovrapposizione degli input e pertanto dovrebbero essere adottate precauzioni nella dispersione delle gabbie. L'assenza quasi totale di accumulo al fondo rende proponibili simili impianti anche in zone di mare con batimetriche tra i 20 ed i 30 m e con fondali interessati anche da vegetazione.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato realizzato con fondi Mi. R. A. A. F. e M. U. R. S. T.

BIBLIOGRAFIA

Ackefors H. 1986. The impact on the environment by cage farming in open water. *J. Aquacult. Tropics.,* 1: 25-33.

Aminot A. & Chaussepied M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Centre National pour l'Exploration des Oceans:* 107-118.

Aure J. & Stigebrandt A. 1990. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture,* 90: 135-156.

Beveridge M.C.M. 1984. The environmental impact of freshwater cage and penfish farming, and use of simple models to predict carrying capacity. *FAO Fish. Techn. Paper,* 255: 131.

Braaten B. & Dahle L.A. 1988. Large scale offshore farming. Possibilities and limitations. In: Efficiency in aquaculture production: technology improvement in farming systems. (Grimaldi E. & Rosenthal H. Eds). *Proceeding 4^{lh} Int. Conf. On Aquafarming, Verona, Italy, October 1988.*

Danovaro R. & Fabiano M. 1992. Batteri, pigmenti clorofilliani, lipidi, protidi e carboidrati nel sedimento. *Data Reports, Ist. Scienze Amb. Mar., Univ. Genova,* 32: 1-15.

Folke C. & Kautsky N. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio,* 18: 234-243.

Gowen R.J. & Bradbury D. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 25: 563-575.

Gowen R.J., Bradbury D. & Brown J.R. 1989. The use of simple models in assessing two of the interactions between fish farming and the marine environment. In: Aquaculture - A biotechnology in Progress (De Pauw N, Jaspers E., Ackefors H. & Wilkins N. Eds). EAS, Breden Belgium: 1071-1078.

Johnsen R.I., Grahl-Nielsen O. & Lunestad B.T. 1993. Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm. *Aquaculture,* 118: 229-244.

Lorenzen C. & Jeffrey J. 1980. Determination of chlorophyll in sea water. *Unesco Technical Papers in Marine Science,* 35: 1-20.

Odum E.P. 1985. *Trends,* expected in stressed ecosystems. *Bioscience,* 35: 419-422.

Parker A. 1983. A comparison of methos used for measurement of organic matter in marine sediment. *Chemistry and Ecology,* 1, 201-210.

Phillips M.J. 1985. The environmental impact of cage culture on Scottish freshwaters lochs. *Institute of Aquaculture,, Univ. of Stirling.* 106 pp.

Rosenthal H., Weston D., Gowen R. & Black E. 1987. Report of the *ad hoc* study group on "Environmental impact of Mariculture". *ICES Statuory Meeting,* CM, 1987/F:2.

Sarà G. 1994. Effetti delle condizioni trofiche ed ambientali sull'accrescimento di *Mytilus galloprovincialis* (LMK 1819) in un parco open-sea nel Golfo di Castellammare (TP - Sicilia). *Tesi Dottorale, Università degli Studi Messina.* 101 pp.

Sarà G. & Mazzola A. in press. Effects of trophic and environmental conditions on the growth of *Crassostrea gigas* in culture. *Aquaculture.*

Seymour E.A. & Bergheim A. 1991. Towards a reduction of pollution from intensive aquaculture with reference to the farming of salmonids in Norway. *Aquacultural Engineering,* 10: 73-88.

Shpigel M., Neori A., Popper D.M. & Gordin H. 1993. A proposed model for "environmentally clean" land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture,* 117: 115-128.

Silvert W. 1992. Assessing environmental impacts of finfish aquaculture in marine waters. *Aquaculture,* 107:67-79.

Sokal R.R. & Rohlf F.J. 1981. Biometry. W. H. Freeman & C., New York. 859 pp.

Strikland J.D.H. & Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis, 2nd edn. *Bull. Fisheries Res. Board of Canada,* 167. 310 pp.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 457 - 466

NOTA PRELIMINARE SULLE RELAZIONI FRA LE CARATTERISTICHE DEI FONDALI E LA PRESENZA DI PICCOLI PELAGICI *(ENGRAULIDIDAE E CLUPEIDAE)* IN UNA AREA ANTISTANTE CAPO PASSERO (SICILIA SUD-ORIENTALE)

Salvatore MAZZOLA[1,5], Angelo BONANNO[2], Bernardo PATTI[1], Omelia FERRETTI[3], Wilia TESLER[4], Serghey GONTCHAROV[4], Gualtiero BASILONE[1], Angela CUTTITTA[1], Silvana VALLERGA[5], Lucio CALISE[5], Angelo PERILLI[5], Alberto RIBOTTI[5], Roberto SORGENTE[5], Mario SPROVIERI[5], Angelo GUERRINI[6]

[1]Istituto di Tecnologia della Pesca e del Pescato - CNR, Mazara del Vallo
[2]Dipartimento di Energetica e Applicazioni della Fisica, Università di Palermo
[3]Enea-Cram, La Spezia
[4]Laboratory of Fisheries Acoustics, VNIRO, Mosca
[5]International Marine Center, Oristano
[6]CNR, Roma.

ABSTRACT

Some preliminary results of the analysis of acustical data collected in a small test sea area facing Capo Passero (South-eastern Sicily) during a multidisciplinary campaign carried out aboard of N/O "Urania" in April 1994 are presented. The main goals of .were: 1) to perform an acoustic survey in order to investigate the distribution and the density of schools of small pelagics, and their relationships with sedimentological and oceanographic pattern in the same area; 2) to test the possibility of using simultaneously geological (Side Scan Sonar) and biological (Biosonar) acoustic devices, one step towards the realization of "really interdisciplinary" oceanographic campaigns. The preliminary analysis of data showed that dense schools of small pelagics occur in preference associated with some typical morphological structures (e.g. small slopes). A simultaneous use of Side Scan Sonar for detecting seabottom conditions presented no operative problems.

1. INTRODUZIONE

Durante la campagna oceanografica SERENA I (Study of sEa Resources Emphasizing multidiscipliNary Approach), realizzata nel Canale di Sicilia nel mese di Aprile 1994 per mezzo della N/O "Urania", sono stati condotti due esperimenti (a diversa scala spaziale) con l'obiettivo di studiare le relazioni esistenti tra l'abbondanza e

distribuzione dei piccoli pelagici, da una parte, e le condizioni oceanografiche, la morfologia dei fondali ed il tipo dei sedimenti marini dall'altra. L'approccio al problema è stato di tipo multidisciplinare, perché, come evidenziato nell'ambito di numerosi programmi di ricerca (Globec, 199la), è solo attraverso la stretta collaborazione tra esperti delle diverse discipline coinvolte che sono ipotizzabili significativi passi avanti nella comprensione del funzionamento dell'ecosistema pelagico, anche alla luce del fallimento di vari tentativi di gestione delle risorse rinnovabili del mare (sia demersali che pelagiche) in numerosi Paesi (Globec, 1993a). Molti sono i problemi che hanno ostacolato la messa a punto di progetti multidisciplinari veramente efficienti ed efficaci e questi possono essere raggruppati in tre grosse famiglie: nella prima ricadono quelli di origine teorica, legati alla complessità delle interazioni fra i vari domini del mare (Globec, 199la; 1993a); nella seconda ricadono quelli di origine sperimentale, legati alla mancanza di strumentazione per la raccolta di misure contemporanee multidisciplinari ed anche alla difficoltà di conciliare l'uso delle varie apparecchiature e le diverse procedure di misura: in questo contesto, crediamo che le strumentazioni elettroacustiche possano avere un ruolo importante (Globec, 1991b; 1993b); alla terza famiglia appartengono i problemi legati alla difficoltà di comunicazione tra gli esperti appartenenti ai vari settori dovuti, molto spesso, alle differenze culturali e di formazione.

Questo lavoro ha lo scopo di discutere i risultati preliminari del primo dei due esperimenti realizzati durante la campagna oceanografica SERENA I. L'analisi dei risultati preliminari relativi al secondo problema è oggetto di un ulteriore lavoro presentato al XII Congresso AIOL (Mazzola *et al.,* stesso volume).

L'esperimento oggetto del presente lavoro è stato effettuato in una area pilota nelle acque antistanti Capo Passero, che ricade in una più ampia zona, la costa meridionale siciliana, che riteniamo essere di grande importanza per la riproduzione e l'accrescimento dei piccoli pelagici.

Questi primi due esperimenti, con caratteristiche preliminari, hanno avuto inoltre il compito di preparare le successive campagne.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area di Studio

Lo studio è stato svolto nel tratto di mare antistante Capo Passero (Fig. 1), scelto come sito-pilota per una indagine a carattere morfologico e biologico. Quest'area appartiene ad una zona di mare, la costa siciliana orientale, che, pur presentando una elevata produttività di piccoli pelagici, è a tutt'oggi pochissimo studiata. L'area è situata all'estremità meridionale della Sicilia ed è caratterizzata da una costa alta e articolata e dalla presenza dell'Isola di Capo Passero. L'indagine è stata effettuata lungo la batimetrica dei 25 m, attorno alla quale era presumibile una maggiore concentrazione di piccoli pelagici.

Nella stagione in cui è stata effettuata la campagna gli animali avevano una taglia tale da renderli ben osservabili con la frequenza utilizzata dall'Echo Sounder (Biosonar).

2.2. Strumentazione Acustica

Particolare attenzione è stata data alle potenzialità delle indagini acustiche in questo tipo di applicazioni; i principali strumenti acustici utilizzati sono il Side Scan Sonar (SSS) e l'Echo Sounder.

Il Side Scan Sonar è il modello 260-TH della EG&G Marine Instruments. Le caratteristiche sono:

- frequenza di lavoro 100 KHz;
- risoluzione 15 cm;
- durata dell'impulso 150 ms;
- velocità di crociera 5 nodi;
- temperatura di lavoro ≈ 15 °C;
- potenza di lavoro 150 W.

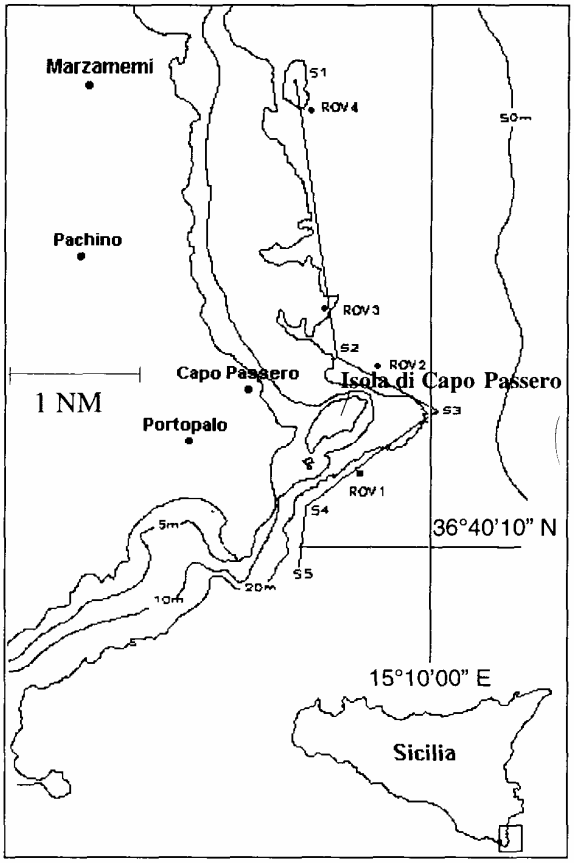


Fig. 1 - Area di studio.

L'Echo Sounder portatile modello EY500 della SIMRAD, con aquilone a traino, è stata la strumentazione acustica utilizzata per indagini di tipo biologico. Le principali caratteristiche tecniche sono:

- frequenza di lavoro: 70 kHz;
- potenza di lavoro: 60 W;

- durata degli impulsi: 3 ms;
- trasduttore 74-24-F avente fascio di ampiezza 11 gradi (-3 dB), sospesa ad una profondità di 4-5 m dalla superficie del mare;
- TVG (time varing gain) per la compensazione della dispersione sferica: 201ogR (target singoli) e 401ogR (target multipli);
- periferiche: display LCD, stampante a colori a getto d'inchiostro per la visualizzazione in tempo reale, un registratore a nastro SONY TC-D5M mediante il quale sono stati registrati i segnali acustici analogici retrodiffusi per la successiva analisi.

Una procedura standard di calibrazione della strumentazione elettroacustica è stata realizzata durante la campagna per mezzo di una sfera metallica avente un diametro di 21 mm e un target strength di -39,3 dB alla frequenza di 70 kHz.

2.3. Attività svolta

Sono stati eseguiti dei profili batimetrici intorno ai 25 m da Punta Marzamemi a Capo Passero (Fig. 2); tali profili sono stati utilizzati per i successivi rilevamenti SSS eseguiti sulla stessa rotta con copertura totale di 400 m (Fig. 3). I tracciati definiti sono stati i seguenti:

- tracciato S1-S2: Capo Marzameni - Capo Passero;
- tracciato S2-S3: Isola di Capo Passero Nord;
- tracciato S3-S4: Isola di Capo Passero Sud;
- tracciato S4-S5: da Capo Passero in direzione Sud.

Sulla base di un primo esame dei tracciati SSS, sono stati selezionati i tratti caratterizzati da segnali differenti; in tali siti sono stati effettuati prelievi con benna Shipek per la determinazione delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti ed eseguite osservazioni mediante immersioni ROV per la conferma delle caratteristiche morfologiche.

Le indagini SSS effettuate sono state a carattere esplorativo, non di dettaglio né a copertura, con il solo obiettivo di caratterizzare la morfologia dei fondali, ottenuta con l'indagine batimetrica, integrandola con i dati tessiturali.

L'attività sperimentale svolta ha inoltre compreso:

1) echosurvey, durante le ore diurne, lungo i transetti precedentemente utilizzati per la batimetria e per i profili SSS (Fig.5);

2) echosurvey lungo gli stessi transetti ma durante le ore notturne (Fig. 6);

3) misure di temperatura, salinità ed ossigeno disciolto mediante CTD Sea Bird nelle stazioni precedentemente selezionate per rilievi ROV.

3. RISULTATI

3.1. Osservazioni Side Scan Sonar

Dall'esame preliminare delle immagini del Side Scan Sonar sono state individuate essenzialmente: zone ricoperte da *Posidonia oceanica,* aree sabbiose con evidenti ripples, principalmente nei canali fra i posidonieti, e affioramenti di biocostruzioni carbonatiche completamente ricoperti da alghe calcaree.

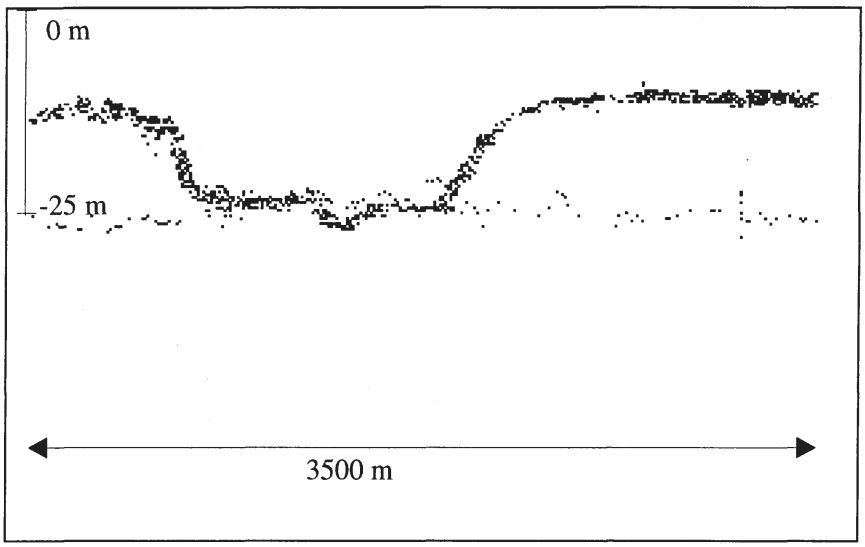


Fig. 2 - Esempio di registrazione del profilo batimetrico. Parte meridionale del Settore A. (Coordinate punto centrale: 36°43'00" N, 15°08'42" E).

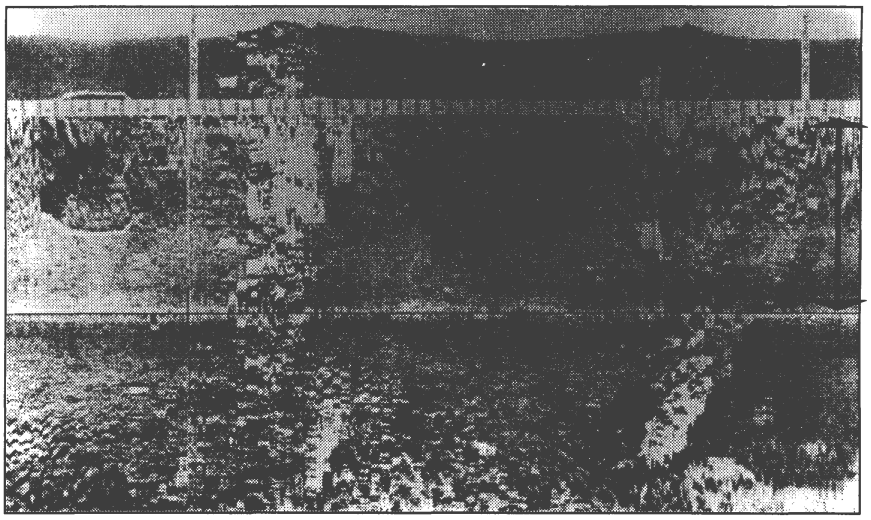


Fig. 3 - Esempio di tracciato Side Scan Sonar, ricadente approssimativamente sul punto medio del profilo S2-S3, caratterizzato da sabbie biodetritiche con affioramenti ricoperti da concrezioni calcaree. Il rilevamento è lungo 3000 m. Il riferimento verticale è lungo 200 m.

Le osservazioni SSS effettuate (v. Fig. 1) possono essere così riassunte:
Profilo Sl-S2(da36°44'12"N, 15°Q8'24"Ea36^{0}41'48"N, 15°08'54"E):
fondali sabbiosi grossolani biodetritici e *Posidonia oceanica.*
Profilo S2-S3 (da36°41'48"N, 15°08'54"E a36°41'18"N, 15°10'00"E):

sabbie biodetritiche a granulometria media, con presenza di *Posidonia oceanica* e affioramenti ricoperti da concrezioni calcaree.
Profilo S3-S4 (da 36°41'18"N, 15°10'00"E a 36°40'24"N, 15°08'36"E):
alternanze di granulometria fine e media e ciuffi di *Posidonia oceanica.*
Profilo S4-S5 (da 36°40'24"N, 15°08'36"E a 36°40'00"N, 15°08'36"E):
sedimenti a granulometria medio fine.

3.2. Osservazioni ROV

Sulla base dei profili batimetrici sono state selezionate le stazioni per le immersioni ROV.

ROV 1: fondale pianeggiante regolare. Batimetria 28 m, piana con sedimenti sabbioso-fini terrigeni e resti di *Posidonia oceanica;* presenza di ripples molto irregolari.

ROV 2: fondale molto irregolare, depressione accentuata. Batimetria 25 m, posidonieto con canali riempiti di sedimenti medio-grossolani biodetritici con presenza di ripples. In tutta l'area sono presenti affioramenti ricoperti da alghe calcaree.

ROV 3: fondale irregolare con depressione (circa 4-5 m). Batimetria 22 m, posidonieto percorso in alcuni punti da canali con sedimenti a granulometria media-grossolana e presenza di ripples; numerosi affioramenti ricoperti da alghe calcaree.

ROV 4: profilo batimetrico con fondale irregolare e leggera depressione (circa 1 m). A profondità superiori a 20 m ripples di grandi dimensioni con direzione parallela alla costa e sedimenti costituiti da sabbie grossolane biodetritiche. Presenza sporadica di blocchi ricoperti da alghe calcaree (Halimeda sp.). A profondità inferiori a 20 m, posidonieto a ciuffi in buono stato, con alternanza di affioramenti coralligeni.

3.3. Caratteristiche dei fondali

Le caratteristiche tessiturali, risultate da un primo sommario esame dei sedimenti campionati con la benna, l'analisi dei profili SSS e le osservazioni ROV hanno condotto alla individuazione, lungo il profilo, di 5 settori (Fig. 4):

- Settore A (da Marzamemi a Cozzo S. Lucia): morfologia pianeggiante con ripples di grandi dimensioni, probabilmente di corrente, con direzioni parallele alla costa; diffusi blocchi ricoperti da alghe calcaree. I sedimenti sono costituiti da sabbie grossolane biodetritiche; presenza di *Posidonia oceanica.*
- Settore B (da Cozzo S. Lucia a Capo Passero): affioramenti ricoperti da concrezioni calcaree; posidonieto con copertura di circa l'80%, presenza di canali e ripples con direzioni meno nette. I sedimenti sono costituiti da sabbia media biodetritica.
- Settore C (Isola di Capo Passero nord): caratteri morfologici simili all'area B, aumentano gli affioramenti ricoperti da concrezioni calcaree; il posidonieto è attraversato da canali e presenta tracce di ripples. Le sabbie risultano medio-fini, biodetritiche e terrigene.
- Settore D (Isola di Capo Passero sud): posidonieto più rado, impiantato su roccia; più al largo si rinvengono sedimenti fini terrigeni e resti di *Posidonia oceanica.*

• Settore E: morfologia pianeggiante con sedimenti fini terrigeni e presenza di *Posidonia oceanica.*

In sintesi, la granulometria dei sedimenti è essenzialmente grossolana e biodetritica nel settore a nord di Capo Passero; la tessitura intorno all'Isola di Capo Passero è medio-fine di natura biodetritica e terrigena, per diventare terrigena e di dimensioni fini nell'area più meridionale. Tutta l'area osservata è generalmente interessata da affioramenti ricoperti da concrezioni calcaree, che nella zona settentrionale risultano meno estesi: la loro massima diffusione si rinviene intorno all'isola di Capo Passero. La *Posidonia oceanica è* sempre presente e il massimo di densità della prateria si rinviene nella zona nord, a ridosso dell'isola di Capo Passero: il posidonieto è sempre interessato da canali e ripples da correnti.

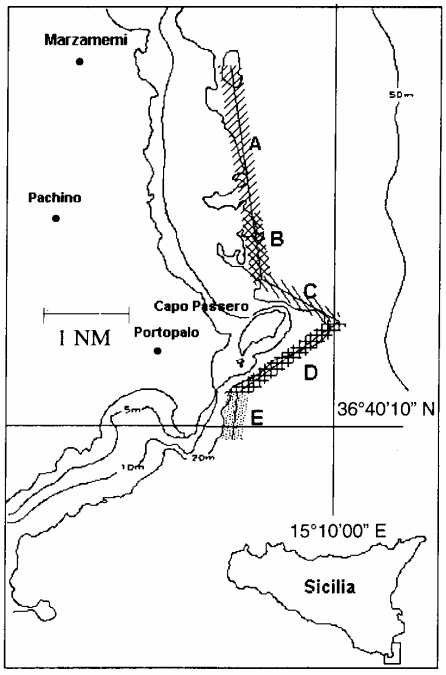


Fig. 4 - Risultati granulometrici e morfologici.

3.4. Echo survey

L'analisi preliminare e qualitativa dei tracciati del Biosonar durante il survey diurno ha rivelato la presenza di numerose *schools* densamente popolate in prossimità di strutture morfologiche elevate (es. piccole scarpate), con la tipica forma allungata caratteristica delle aggregazioni dei piccoli pelagici durante i periodi diurni (Fig. 5). L'analisi del tracciato notturno ha confermato il comportamento tipico di questi animali che durante la notte tendono a disperdersi in strutture a scarsa densità (Fig. 6). L'elevato numero di *schools* di elevata densità e la taglia media degli animali osservati (10-11,5 cm, ottenuta attraverso analisi statistica del Target Strenght) ci ha confermato di essere

in presenza di piccoli pelagici; questi probabilmente utilizzano la costa orientale siciliana, all'interno della batimetrica dei 200 m, come zona di *spawning* e poi di accrescimento.

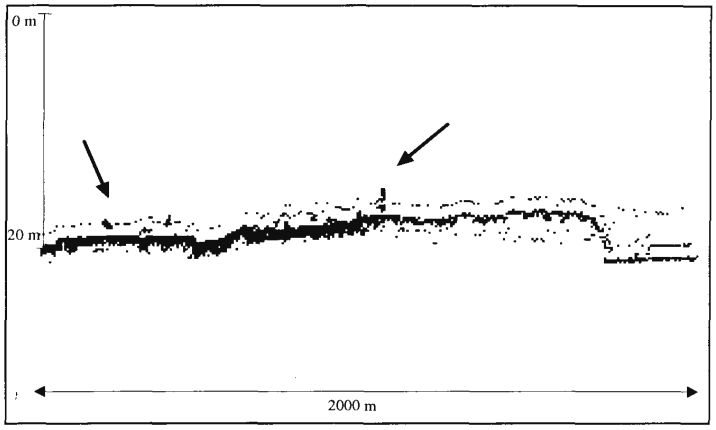


Fig. 5 - Esempio di registrazione ottenuta dal Bio-Sonar durante le ore diurne. Le frecce indicano alcune *schools* dense e compatte. Coordinate punto centrale: 36°42'30" N, 15°08'42" E.

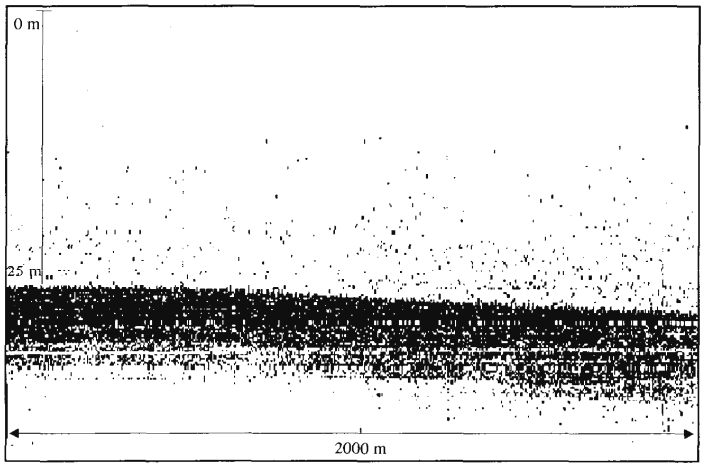


Fig. 6 - Esempio di registrazione ottenuta con il Biosonar durante le ore notturne. Coordinate punto centrale: 36°41'30" N, 15°09'24" E.

3.5. Dati fisici

L'analisi preliminare dei profili di temperatura, salinità ed ossigeno ottenuti con il CTD, ha mostrato un forte mescolamento dovuto alle violente mareggiate avvenute nei

giorni in cui è stata realizzata la campagna, da cui l'elevata omogeneità delle caratteristiche delle masse d'acqua nella zona in esame. Questo ha reso difficile lo studio delle correlazioni con la distribuzione dei piccoli pelagici, ma ha comunque consentito di verificare sul campo la possibilità di un uso combinato della Sonda multiparametrica e del Bio-sonar.

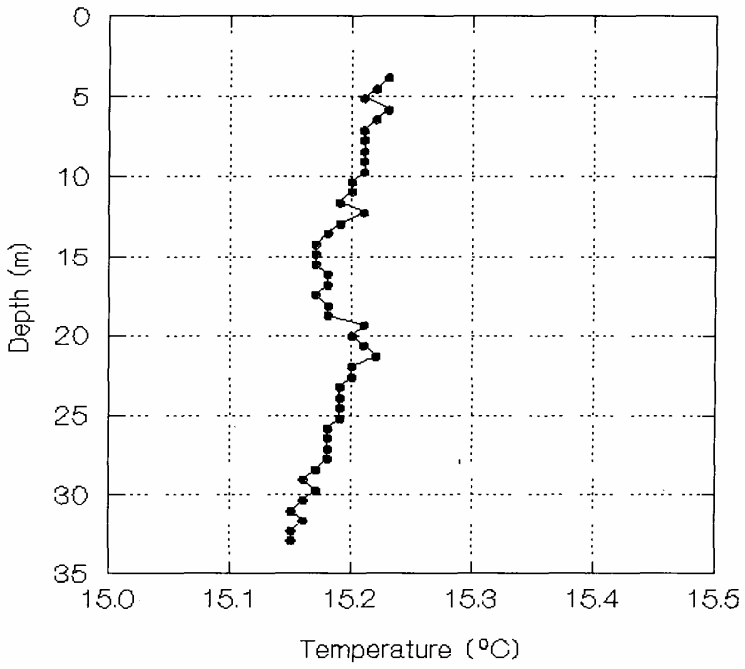


Fig. 7 - Profilo verticale di temperatura ottenuto nei pressi di Capo Passero (36°41'24" N, 15°09'18" E). E' evidente l'elevato rimescolamento delle masse d'acqua.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dell'analisi preliminare dei dati raccolti durante questo primo esperimento hanno una duplice valenza. Da una parte essi rappresentano un contributo alla conoscenza delle caratteristiche dei fondali e della relazione con la distribuzione dei piccoli pelagici nell'area di studio; dall'altra, costituiscono una prima verifica sperimentale dei limiti di applicabilità di strumenti e procedure appartenenti alle varie discipline (Biologia, Fisica e Geologia) nel corso di campagne oceanografiche in cui si manifesti l'esigenza di effettuare misure contemporanee in diversi domini. In questa direzione, avvalendosi della presenza a bordo di ricercatori afferenti alle diverse discipline, è stata soprattutto verificata la possibilità di utilizzare contemporaneamente

strumentazione elettroacustica per fini geologici (SSS) e per fini biologici (Biosonar). Questo tipo di lavoro ha quindi permesso di individuare alcune compatibilita procedurali tra le diverse discipline fornendo utili indicazioni per l'ottimizzazione di future campagne oceanografiche sia multidisciplinari che interdisciplinari.

BIBLIOGRAFIA

Globec report. 199la. Initial Science Plan, n. 1, February.

Globec report. 1991b. Globec workshop on Acoustical Technology and the Integration of Acoustical and optical Sampling Methods, n. 4, September.

Globec report. 1993a. Population Dynamics and Physical variability, vol. 2.

Globec report. 1993b. Sampling and observational systems, n. 3.

Mazzola S., Patti B., Bonanno A., Tesle W., Gontcharov S., Giacobbe M.G., Bonaccorso A., Basilone G., Cuttitta A., Vallerga S., Calise L., Perilli A., Ribotti A., Sorgente R., Sprovieri M. & Guerrini A. 1997. Studio preliminare ed interdisciplinare sulle relazioni fra la distribuzione e abbondanza dei piccoli pelagici e le condizioni oceanografiche sulla piattaforma continentale del Canale di Sicilia, *Stesso Volume.*

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 467 - 475

STUDIO PRELIMINARE ED INTERDISCIPLINARE SULLE RELAZIONI FRA LA DISTRIBUZIONE E ABBONDANZA DEI PICCOLI PELAGICI E LE CONDIZIONI OCEANOGRAFICHE SULLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DEL CANALE DI SICILIA

Salvatore MAZZOLA[1,5], Bernardo PATTI[1], Angelo BONANNO[2], Wilia TESLER[3], Serghey GONTCHAROV[3], Maria Grazia GIACOBBE[4], Alessandra BONACCORSO[4], Gualtiero BASILONE[1], Angela CUTTITTA[1], Silvana VALLERGA[5], Lucio CAUSE[5], Angelo PERILLI[5], Alberto RIBOTTI[5], Roberto SORGENTE[5], Mario SPROVIERI[5], Angelo GUERRINI[6]

[1]istituto di Tecnologia della Pesca e del Pescato - CNR, Mazara del Vallo
[2]Dipartimento di Energetica e Applicazioni della Fisica, Università di Palermo
[3]Laboratory of Fisheries Acoustics, VNIRO, Mosca
[4]Istituto Talassografico - CNR, Messina
[5]International Marine Center, Oristano
[6]CNR, Roma

ABSTRACT

Some preliminary results of the analysis of oceanographic, geological and bio-acustical measurements performed in the Sicilian Channel during a multidisciplinary campaign carried out aboard of N/O "Urania" in April 1994 are presented. Further information on hydrological parameters as POC-PON, Chl-a and total phytoplankton concentrations was derived from hydrological samples collected in selected sites. The main goals of the campaign were: 1) to perform an acoustic survey on the Sicilian shelf in order to investigate the distribution and the density of schools of small pelagics, and their relationships with geo-sedimentological and oceanographic structures in the same area; 2) to test the possibility of using at the same time geological (Sub-bottom, Sparker) and biological (scientific echo sounder) acoustic devices, one step towards the realization of "really interdisciplinary" oceanographic campaigns. The preliminary analysis of data showed high correlation between phytoplankton concentration and the distribution of schools of small pelagics. In addition, contemporaneous use of Echo sounder and Sub-bottom (unlike Sparker System) demonstrated no operative problems.

1. INTRODUZIONE

Numerosi programmi di ricerca oceanografica svolti in passato hanno mostrato

come sia assolutamente necessario un approccio multidisciplinare (Globec, 199la) per una comprensione del funzionamento dell'ecosistema pelagico, e ciò anche a seguito del fallimento di vari tentativi di gestione delle risorse biologiche e pelagiche in molti paesi (Globec, 1993a). Molti sono i problemi che hanno ostacolato la messa a punto di progetti multidisciplinari veramente efficienti ed efficaci e questi possono essere raggruppati in tre grosse famiglie: nella prima ricadono quelli di origine teorica, legati alla complessità delle interazioni fra i vari domini del mare (Globec, 199la e 1993a); nella seconda ricadono quelli di origine sperimentale, legati alla mancanza di strumentazione per la raccolta di misure contemporanee multidisciplinari ed anche alla difficoltà di conciliare l'uso delle varie apparecchiature e le diverse procedure di misura. In questo contesto, crediamo che le strumentazioni elettroacustiche possano avere un ruolo importante (Globec, 1991b e 1993b); alla terza famiglia appartengono i problemi legati alla difficoltà di comunicazione tra gli esperti appartenenti ai vari settori dovute, molto spesso, alle differenze culturali e di formazione.

Obiettivo di questo lavoro è quello di presentare e discutere i risultati preliminari del secondo dei due esperimenti realizzati durante la campagna oceanografica SERENA I (Study of sEa Resources Emphasizing multidiscipliNary Approach), realizzata per mezzo della N/O "Urania" nel Canale di Sicilia. La descrizione dei risultati preliminari del primo esperimento è oggetto di un altro lavoro presentato al XII Congresso AIOL (“Nota preliminare su uno studio multidisciplinare sulle relazioni fra le strutture sedimentologiche-geologiche e l'abbondanza e distribuzione dei piccoli pelagici in una area antistante Capo Passero” di Mazzola *et al.).*

L'esperimento è stato effettuato sulla piattaforma continentale della Sicilia meridionale con lo scopo di studiare le relazioni fra l'abbondanza e distribuzione dei piccoli pelagici, le condizioni oceanografiche e la morfologia, la struttura ed il tipo dei fondali marini, nonché di verificare la possibilità di impiego contemporaneo di strumenti e di procedure di misure multidisciplinari.

La campagna oceanografica SERENA I è stata la prima di una serie di tre campagne svolte nel 1994 con l'obiettivo di favorire l'integrazione degli aspetti fisici, chimici, biologici (dal livello corrispondente al fitoplancton a quello corrispondente ai piccoli pelagici) e sedimentologici, nell'ambito in uno studio interdisciplinare dell'ecosistema pelagico che verrà portato avanti sia dal punto di vista teorico con modelli matematici, sia dal punto di vista sperimentale con campagne a mare. Gli esperimenti condotti nel corso di SERENA I, con caratteristiche preliminari, hanno avuto inoltre il compito di preparare le successive campagne.

2. MATERIALI E METODI

L'echo sounder scientifico mod. EY200P della SEVIRAD è stata la strumentazione acustica utilizzata per indagini di tipo biologico nel corso della campagna. Le principali caratteristiche tecniche dello strumento sono le seguenti:

- frequenza di lavoro: 70 kHz;
- potenza elettrica emessa: 1000 W;

- durata degli impulsi: da 0.3 a 3 ms;
- antenna 74-24-F avente fascio di ampiezza 11 gradi (-3 dB), sospesa ad una profondità di 4-5 m dalla superficie del mare;
- TVG (time varing gain) per la compensazione della dispersione sferica: 20logR (target singoli) e 401ogR (target multipli);
- periferiche: display LCD e stampante a colori a getto d'inchiostro per la visualizzazione in tempo reale, un registratore a nastro SONY TC-D5M mediante il quale sono stati registrati i segnali acustici analogici retrodiffusi per la successiva analisi dei dati;

Una procedura standard di calibrazione della strumentazione elettroacustica è stata realizzata durante la campagna per mezzo di una sfera metallica avente un diametro di 21 mm e un target strength di -39.3 dB alla frequenza di 70 kHz.

Il principale obiettivo dell'indagine acustica è stato la raccolta di informazioni preliminari sulla distribuzione dei banchi di piccoli pelagici, nonché sulle loro dimensioni, densità e profondità. A questo scopo, anche in considerazione delle cattive condizioni del mare e delle esigenze legate alla raccolta di informazioni complementari (oceanografiche e sedimentologiche), i transetti effettuati sono stati del tipo a zig-zag, i soli a permettere di ottenere in breve tempo informazioni relative a vaste aree di mare (Fig. 1). In particolare, il survey acustico è cominciato alle ore 16.00 del 13/04/94 e ha avuto termine alle 17.30 del giorno dopo.

Durante l'esecuzione dell'echo-survey si è proceduto al lancio di alcune sonde XBT che hanno permesso la rilevazione di profili verticali di temperatura.

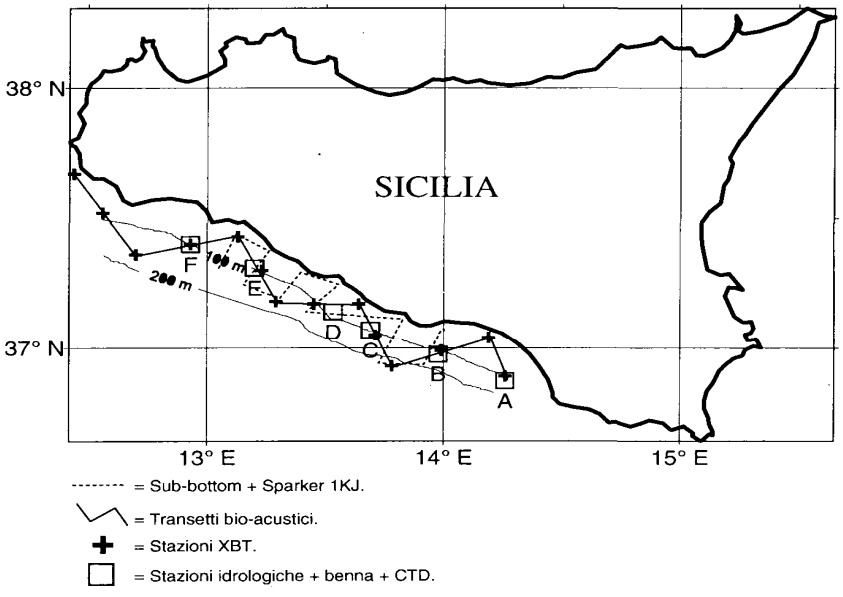


Fig. 1 - Area di studio e principali misure effettuate.

In corrispondenza di alcune stazioni precedentemente selezionate, localizzate approssimativamente al centro dei sette transetti acustici effettuati, sono stati prelevati campioni d'acqua a quote prefissate (0, 5, 15, 20 e 50 m). Tali campionamenti sono stati eseguiti per conoscere le concentrazioni di Carbonio organico e Azoto organico particellati (POC e PON), di Clorofilla (Chl-a) e di Fitoplancton (Hickel, 1984; Panella eMagazzù, 1978; Utermòhl, 1958).

Nell'ambito della stessa campagna sono stati effettuati transetti geo-sedimentologici con l'impiego di un Sub-bottom 3.5 kHz e di uno Sparker 1000 J. Si sono inoltre realizzate campionature di sedimento superficiale con Benna Shipek. Per l'analisi dettagliata degli aspetti sedimentologici-geologici si rimanda al lavoro di Romagnoli *et al.,* presentato in questa stessa sede.

3. RISULTATI

La mappa delle densità dei banchi incontrati durante la navigazione (Fig. 2 e Tab. 1) mostra la tipica evoluzione giornaliera del processo di aggregazione dei banchi di piccoli pelagici. Nelle ore notturne sono stati registrati i valori più bassi di densità e la totale assenza di banchi. Questi ultimi sono stati invece osservati nella prima parte del survey (fino al tramonto) e a partire dalle prime ore del mattino del giorno seguente, a profondità comprese tra 5 e i 50 m e su fondali tra i 15 e i 70 m. E' interessante notare i movimenti verticali giornalieri dei banchi (Fig. 3), presenti nella parte inferiore della colonna d'acqua nelle prime ore del mattino e incontrati progressivamente a profondità minori nel corso della giornata fino al tramonto.

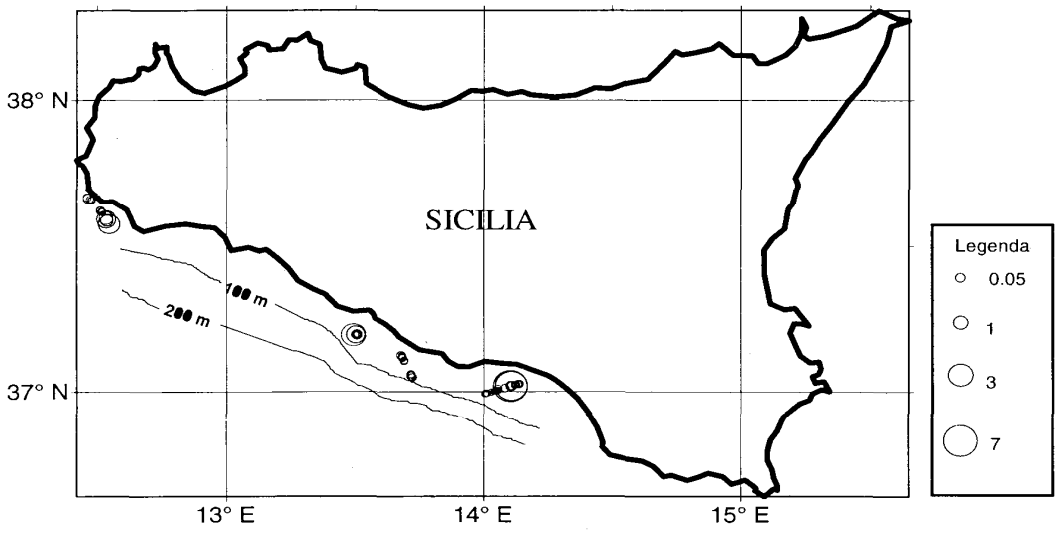


Fig. 2. - Densità (abbondanza/m^3) dei banchi incontrati durante l'echosurvey.

Tab. 1 - Dati relativi ai banchi incontrati nel corso del survey bio-acustico.

Banco	Latitudine (° dec)	Longitudine (° dec)	Temperatura (° C)	Ora (GMT)	Profondità del fondo (m)	Profondità del banco (m)	Altezza del banco (m)	Volume del banco (m^3)	Backscattering, Sv (dB)	Densità (abbondanza/m^3)	Abbondanza	Biomassa (Kg)	Note
1	37.67	12.46	14.64	16.49	15	7	3	20	-55.9	0.44	9	0.07	13/04/94
2	37.66	12.47	14.61	16.52	17	10	2	5	-52.8	0.90	4	0.03	
3	37.66	12.48	14.63	17.00	24	6.75	1.5	11	-54.5	0.61	6	0.05	
4	37.62	12.52	14.49	17.38	32	18.9	1.8	16	-55.3	0.51	8	0.06	
5	37.62	12.52	14.48	17.38	32	20.1	2.2	18	-55.3	0.51	9	0.07	
6	37.62	12.52	14.49	17.42	35	19	2	20	-57.7	0.29	6	0.05	
7	37.62	12.52	14.51	17.43	36	16	2	13	-60.8	0.14	2	0.01	
8	37.59	12.53	14.55	18.01	42	11.6	3.2	69	-49.7	1.85	127	1.00	
9	37.59	12.54	14.56	18.04	43	9.75	5.5	539	-47.4	3.13	1687	13.32	
10	37.59	12.54	14.54	18.08	46	12.25	7.5	913	-50.9	1.40	1278	10.09	
11	37.57	12.55	14.56	18.18	50	9.2	2	36	-46.7	3.68	131	1.03	
12	37.19	13.49	14.65	7.44	50	36.25	7.5	736	-45.9	4.43	3259	25.73	14/04/94
13	37.19	13.50	14.68	7.47	50	45.6	3.2	40	-61.1	0.13	5	0.04	
14	37.19	13.50	14.67	7.47	48	42.5	5	131	-59	0.22	28	0.22	
15	37.19	13.50	14.66	7.47	48	40.5	6	266	-64.9	0.06	15	0.12	
16	37.19	13.50	14.67	7.49	50	41	7	303	-47.6	2.99	906	7.15	
17	37.19	13.50	14.67	7.51	47	41	4	76	-64.1	0.07	5	0.04	
18	37.19	13.50	14.67	7.51	47	41.8	5.6	250	-61.3	0.13	32	0.25	
19	37.19	13.51	14.67	7.52	46	42.1	4.2	112	-56.8	0.36	40	0.32	
20	37.19	13.51	14.66	7.52	46	37.5	5	452	-52.9	0.88	399	3.15	
21	37.20	13.51	14.67	7.54	45	41	4	71	-57.5	0.31	22	0.17	
22	37.12	13.68	14.59	10.21	36	16.25	2.5	96	-54.2	0.65	63	0.50	
23	37.12	13.68	14.59	10.22	37	16.25	2.5	63	-62.6	0.09	6	0.05	
24	37.12	13.68	14.58	10.24	40	17	4	293	-60.8	0.14	42	0.33	
25	37.12	13.68	14.55	10.26	38	19.4	3.8	111	-58.1	0.27	30	0.23	
26	37.11	13.69	14.55	10.35	45	22.5	5	437	-61.2	0.13	57	0.45	
27	37.10	13.69	14.54	10.37	45	27.6	3.2	71	-61.3	0.13	9	0.07	
28	37.06	13.71	14.55	11.13	65	35.5	6	381	-58.8	0.23	86	0.68	
29	37.06	13.71	14.56	11.13	66	38	8	409	-60.9	0.14	57	0.45	
30	37.06	13.71	14.56	11.13	66	37.5	7	233	-56.9	0.35	82	0.65	
31	37.06	13.72	14.58	11.15	67.5	52.5	5	228	-62.5	0.10	22	0.17	
32	37.05	13.72	14.54	11.16	70	30	5	306	-55	0.54	167	1.32	
33	37.05	13.72	14.58	11.21	72.5	51.25	2.5	40	-56.6	0.38	15	0.12	
34	36.99	14.00	14.86	15.36	64	39.75	4.5	161	-63.9	0.07	11	0.09	
35	36.99	14.01	14.84	15.38	63	41	4	119	-64.9	0.06	7	0.05	
36	36.99	14.01	14.86	15.41	60	35	7	470	-63	0.09	41	0.32	
37	37.00	14.03	14.92	15.52	54	22.5	6	829	-60.3	0.16	133	1.05	
38	37.00	14.04	14.79	15.59	50	30.5	5	281	-61.9	0.11	31	0.25	
39	37.00	14.04	14.72	16.02	48	35	4	157	-63.3	0.08	13	0.10	
40	37.00	14.05	14.70	16.07	45	33.9	3.8	106	-62.3	0.10	11	0.08	
41	37.00	14.05	14.83	16.09	44	25	6	285	-61.9	0.11	32	0.25	
42	37.01	14.05	14.85	16.22	36	22.5	3	163	-59.8	0.18	29	0.23	
43	37.01	14.08	14.84	16.28	33	20.5	5	151	-57.3	0.32	48	0.38	
44	37.02	14.10	14.81	16.41	28	20	4	123	-44	6.85	844	6.67	
45	37.02	14.10	14.84	16.43	28	19	4	86	-52.4	0.99	85	0.68	
46	37.02	14.11	14.96	16.44	28	14	4	101	-56.6	0.38	38	0.30	
47	37.02	14.11	14.86	16.44	27.5	18	4	77	-56.2	0.41	32	0.25	
48	37.02	14.11	14.91	16.44	27	16	6	243	-44.4	6.25	1520	12.00	
49	37.02	14.12	14.97	16.53	24	13.5	3	33	-63	0.09	3	0.02	
50	37.02	14.12	14.92	16.53	24	15	4	71	-65.1	0.05	4	0.03	
51	37.02	14.12	14.99	16.56	23.5	12.5	3	37	-59.8	0.18	7	0.05	
52	37.02	14.13	15.04	17.01	22	11	2	36	-61.3	0.13	5	0.04	
53	37.02	14.13	15.04	17.01	22	11	2	54	-56.6	0.38	21	0.16	
54	37.03	14.14	15.07	17.06	21	9.9	1.8	31	-62.5	0.10	3	0.02	

Il lancio di alcune sonde XBT nel corso della navigazione ha permesso la ricostruzione del campo di temperatura nell'area oggetto di studio. Dai dati di temperatura raccolti non è stato possibile individuare nessuna relazione con la distribuzione dei banchi. Procedendo verso Sud-Est si è registrato un progressivo leggero innalzamento della temperatura superficiale in un range di 14.4-15.4 °C, valore minimo nel tratto di mare antistante Sciacca (Fig. 4). I valori di temperatura osservati in prossimità dei banchi incontrati sono stati compresi tra 14.5 e 15.1 °C, in un campo di temperatura tra 14.1 e 15.4 °C (da 5 a 50 metri di profondità).

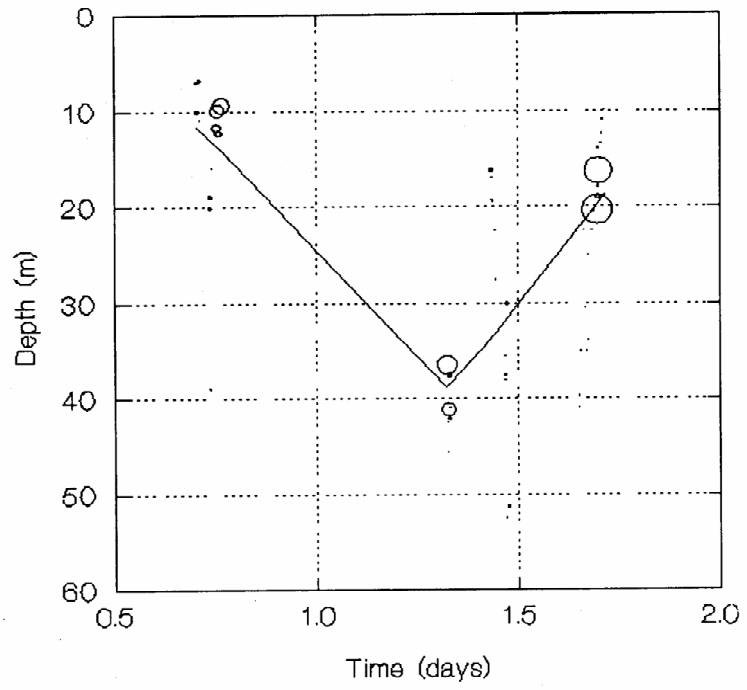


Fig. 3 - Profondità dei banchi incontrati in funzione del tempo (giorni). I cerchi sono di raggio proporzionale alle densità osservate.

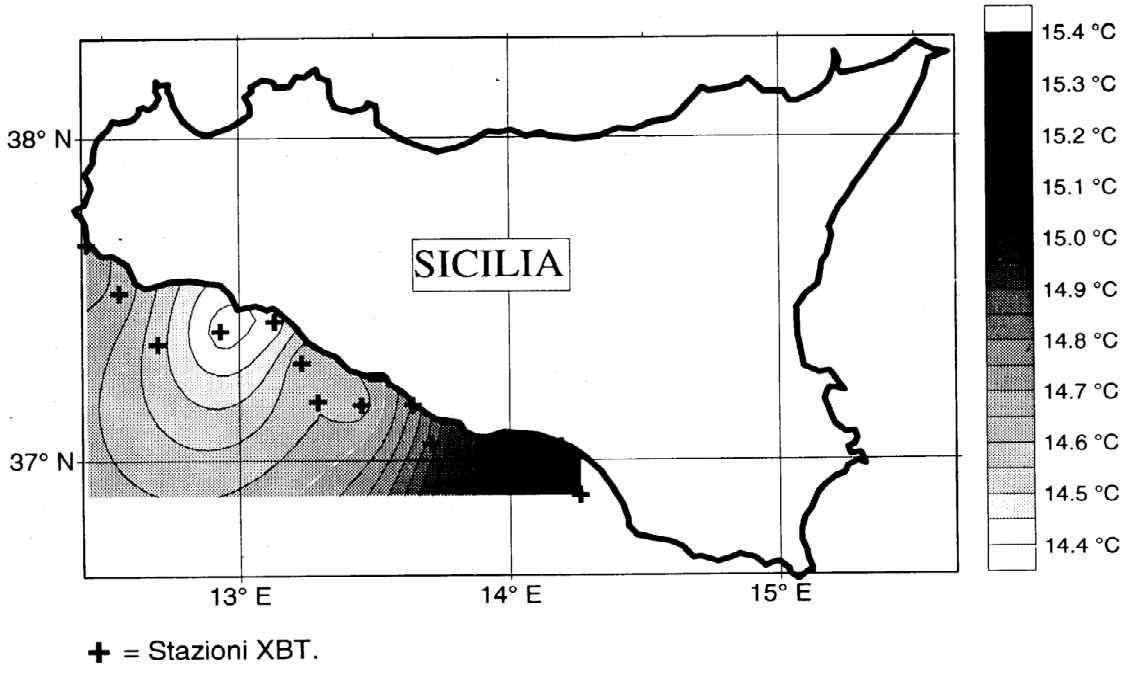


Fig. 4 - Temperatura (°C) a 5 m di profondità.

In tabella 2 sono riportati i risultati dell'analisi dei campioni d'acqua prelevati nelle stazioni idrologiche. Da notare le elevate concentrazioni di fitoplancton e clorofilla osservate nelle stazioni C e D. In figura 5 i dati integrati ogni miglio nautico sono stati utilizzati per ottenere una mappa di distribuzione delle densità di piccoli pelagici. Nella stessa figura sono riportate le posizioni delle stazioni idrologiche, con simboli di dimensione proporzionale all'abbondanza di fitoplancton. E' interessante notare l'elevato grado di accostamento con le misure dell'Echo sounder-sonar; le maggiori densità di pesci si sono infatti riscontrate in corrispondenza di aree in cui sono state osservate le maggiori concentrazioni di fitoplancton.

Tab. 2 - Dati di Carbonio organico (POC, $\mu g\ l^{-1}$) ed Azoto organico particellati (PON, $\mu g\ l^{-1}$), indice C/N, Clorofilla (Chl-a, $\mu g\ l^{-1}$) e Fitoplancton (cellule$*10^3\ l^{-1}$).

Stazione	Latitudine	Longitudine	Quota (m)	POC (µg/l)	PON (µg/l)	C/N	Chl-a (µg/l)	Fito_tot (cell.*10^3/l)
A	36.87	14.26	0	62.5	10.2	6.13	0.02	175.5
A	36.87	14.26	5	101.2	15.7	6.45	0.03	56.3
A	36.87	14.26	15	74.6	12.2	6.11	0.04	129.5
A	36.87	14.26	20	56.0	9.6	5.83	0.05	132.4
A	36.87	14.26	50	60.1	7.8	7.71	0.12	102.6
B	36.98	13.98	0	100.7	9.0	11.19	0.03	72.8
B	36.98	13.98	5	38.3	3.5	10.94	0.03	59.6
B	36.98	13.98	15	117.6	18.1	6.50	0.12	231.8
B	36.98	13.98	20	-	-	-	0.16	238.3
B	36.98	13.98	50	136.8	15.3	8.94	0.12	235.0
C	37.07	13.69	0	110.5	17.9	6.17	0.87	668.9
C	37.07	13.69	5	46.8	4.5	10.40	0.42	351.0
C	37.07	13.69	15	151.8	23.8	6.38	0.97	516.0
C	37.07	13.69	20	152.8	27.1	5.64	1.15	516.0
C	37.07	13.69	50	112.0	20.0	5.60	0.73	331.0
D	37.14	13.53	0	141.8	18.9	7.50	0.72	499.8
D	37.14	13.53	5	150.0	21.4	7.01	0.59	437.2
D	37.14	13.53	15	86.0	12.2	7.05	0.50	341.0
D	37.14	13.53	20	62.4	10.4	6.00	1.05	301.3
D	37.14	13.53	50	138.2	16.7	8.28	0.38	205.2
E	37.31	13.20	0	137.1	19.0	7.22	0.19	165.5
E	37.31	13.20	5	112.7	15.8	7.13	0.23	162.2
E	37.31	13.20	15	123.9	18.0	6.88	0.23	208.5
E	37.31	13.20	20	-	-	-	0.41	235.1
E	37.31	13.20	50	181.0	22.8	7.94	0.13	132.4
F	37.40	12.93	0	86.5	14.2	6.09	0.50	145.6
F	37.40	12.93	5	116.1	19.6	5.92	0.39	201.9
F	37.40	12.93	15	174.1	25.4	6.85	0.23	119.1
F	37.40	12.93	20	129.8	22.0	5.90	0.49	96.0
F	37.40	12.93	50	119.4	21.2	5.63	0.25	129.1

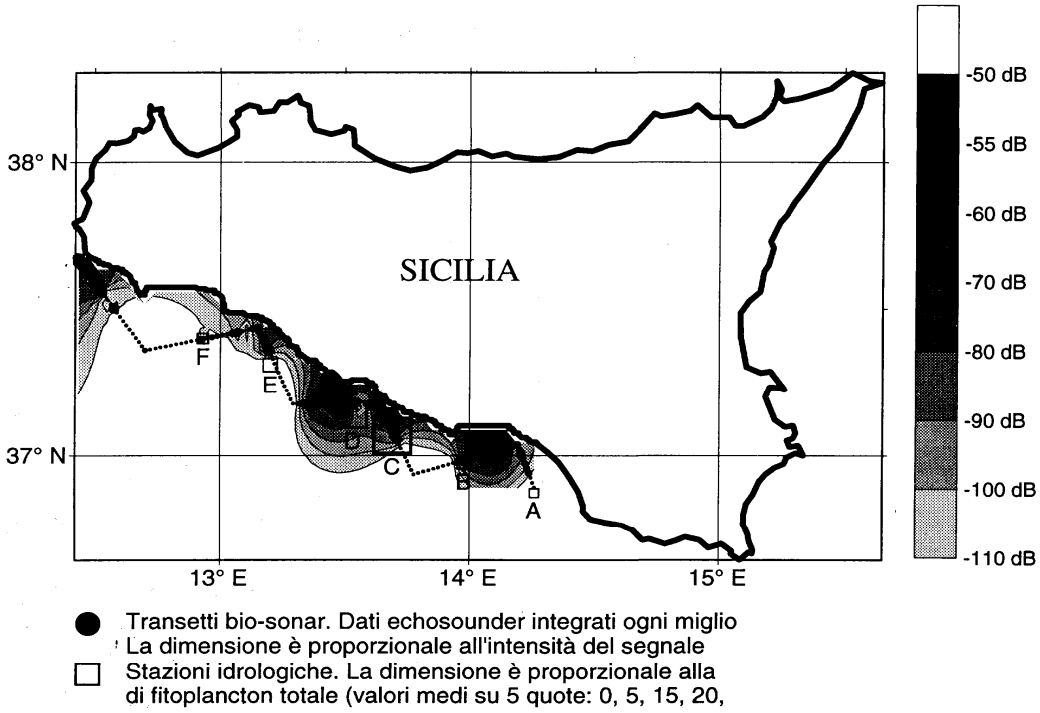


Fig. 5 - Isolinee di intensità del segnale retrodiffuso del bio-sonar e abbondanza di fitoplancton in alcune stazioni selezionate.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'attività svolta nell'ambito di questa prima esperienza ha una duplice valenza: da una parte rappresenta un contributo alla conoscenza delle relazioni tra la distribuzione dei piccoli pelagici e l'abbondanza di fitoplancton nel tratto di mare esplorato, dall'altra costituisce una prima verifica sperimentale dei limiti di applicabilità di strumenti e procedure appartenenti a varie discipline (Biologia, Fisica e Geologia), in relazione all'opportunità di realizzare campagne multidisciplinari in cui sia possibile effettuare misure contemporanee. In questa direzione, avvalendosi della presenza a bordo di ricercatori afferenti alle diverse discipline, che hanno permesso l'integrazione dei dati fisici e biologici con le informazioni sulla morfologia dei fondali, è stata verificata la possibilità di impiego contemporaneo delle strumentazioni elettroacustiche per fini geologici (Subbottom) e per fini biologici (Echo sounder). Di contro l'uso contemporaneo del Sonar scientifico e dello Sparker presenta ancora una serie di problemi dovuti al fatto che l'Echo sounder genera un segnale che viene acquisito ed interpretato dal sistema Sparker 1KJ di bordo, producendo un disturbo sul tracciato sismico con periodicità corrispondente alla cadenza dell'impulso. In futuro, per applicazioni multidisciplinari di questo tipo, sarà necessario cambiare i filtri del sistema sparker oppure usare strumentazione diversa con corpo trainato.

Questo tipo di lavoro ha permesso di individuare le compatibilita procedurali presenti tra le diverse discipline, fornendo utili indicazioni per l'ottimizzazione di campagne oceanografiche sia multidisciplinari che interdisciplinari.

BIBLIOGRAFIA

Globec report. 1991 a. Initial Science Plan, n. l,February.

Globec report. 1991b. Globec workshop on Acoustical Technology and the integration of Acoustical and optical Sampling Methods, n. 4, September.

Globec report. 1993a. Population Dynamics and Physical variability, vol. 2.

Globec report. 1993b. Sampling and observational systems, n. 3.

Hickel W. 1984. Seston in the Wadden Sea of sylt (German Bight, North Sea). *Netherlands Inst. Sea Rea.,* 10:113-131.

Panella S. & Magazzù G. 1978. Analisi dei pigmenti fitoplanctonici. In; Metodi per lo studio del plancton e della produzione primaria. Edizioni G.M. Vibo Valentia, pp.68.

Romagnoli C., Immordino F., Anselmi B. & Ferretti O. 1996. Lineamenti morfologici e deposizionali della piattaforma costiera della Sicilia meridionale. Atti XII Congresso Nazionale A.I.O.L.., Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996.

Utermöhl H. 1958. Zur Velvollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. LimnoL,* 9: 1-38.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 477 - 488

ODAS ITALIA 1: STUDIO DEL MACROFOULING SU UNA BOA OCEANOGRAFICA IN MAR LIGURE

Manuela MONTANARI[1], Paula MOSCHELLA[1], Marco RELINI[2], Antonio SICCARDI[3]

[1]Istituto per la Corrosione Marina dei Metalli, C.N.R., Genova
[2]Istituto di Zoologia: Laboratorio di Biologia Marina ed Ecologia Animale, Università di Genova
[3]Istituto per l'Automazione Navale, C.N.R., Genova

RIASSUNTO

La boa oceanografica ODAS Italia 1, situata in Mar Ligure a 37 miglia da Genova, sulla congiungente Genova-Capo Corso, in posizione 43°48.90' Nord - 009°06.80' Est, su un fondale di 1270 m, offre una situazione sperimentale di grande interesse: la presenza di un substrato solido in acque del largo.

Il macrofouling della boa è stato studiato mediante l'utilizzo di substrati sperimentali, pannelli di cembonit delle dimensioni di 20x30x0.4 cm, alloggiati in gabbie circolari fissate al corpo boa alle profondità di 12 e 33 m. L'esperienza è iniziata il 28/6/92, con l'immersione di 12 pannelli ad ognuna delle due quote, ed è tuttora in corso. Nel presente lavoro sono riferiti i dati relativi a pannelli immersi all'inizio dell'esperienza e prelevati a tempi crescenti (3, 9, 14, 18, 24, 40 mesi di immersione), più significativi al fine di osservare l'evoluzione della comunità bentonica. Su tali pannelli sono stati complessivamente identificati 41 taxa.

Indagini di tipo quali-quantitativo, come il conteggio dei principali organismi insediati, il ricoprimento medio di ciascun taxon e la valutazione della biomassa, hanno permesso di descrivere la comunità bentonica che si forma su substrati sperimentali collocati a diverse profondità in un ambiente molto lontano dalla costa.

ABSTRACT

The oceanographic ODAS Italia 1 buoy is moored in the Ligurian Sea, on the position 43°48.90' North - 009°06.80' East, 37 miles off the coast of Genoa, on the Genoa-Capo Corso course, on a 1270 m sea bottom depth. It offers very interesting experimental conditions: i.e. the presence of a solid substratum in off-shore waters.

Macrofouling on the buoy was investigated with experimental substrates consisting of Cembonit panels (20x30x0.4 cm size) placed in circular cages fixed on the buoy body at 12 and 33 m depth respectively. Experiments started on June 28, 1992, with the deployment of 12 panels at both depth, and are still in progress.

Data concerning the first panels immersed and recovered after increasingly longer periods of immersion (i.e. 3, 9, 14, 18, 24, 40 months) are reported in this work, owing to their greater value for the observation of benthic community evolution. Forty-one taxa have been identified overall.

Through qualitative-quantitative investigations - i.e. counting the number of the main organisms settled on the panels, average coverage for each taxon and biomass assessment - the benthic community could be described that settles on experimental substrates placed at different depths in an off-shore environment.

1. INTRODUZIONE

Il termine fouling è comunemente impiegato per distinguere un'associazione di organismi animali e vegetali che si insediano ed accrescono su strutture artificiali immerse in mare.

L'Istituto per la Corrosione Marina dei Metalli, del CNR di Genova, ed il Laboratorio di Biologia Marina e di Ecologia Animale, dell'Università di Genova, che già dal 1975 compiono ricerche sul fouling di ambienti costieri e del largo (Relini *et al*., 1976; Relini & Montanari, 1988; Montanari *et al.,* 1990; Montanari *et al.,* 1992), hanno attivato una collaborazione con l'Istituto Automazione Navale, del CNR di Genova, al fine di studiare il macrofouling della boa ODAS Italia 1[1], ormeggiata in posizione 43° 48.90' Nord - 009°06.80' Est, a 37 miglia da Genova, su un fondale di 1270 m (Fig. 1).

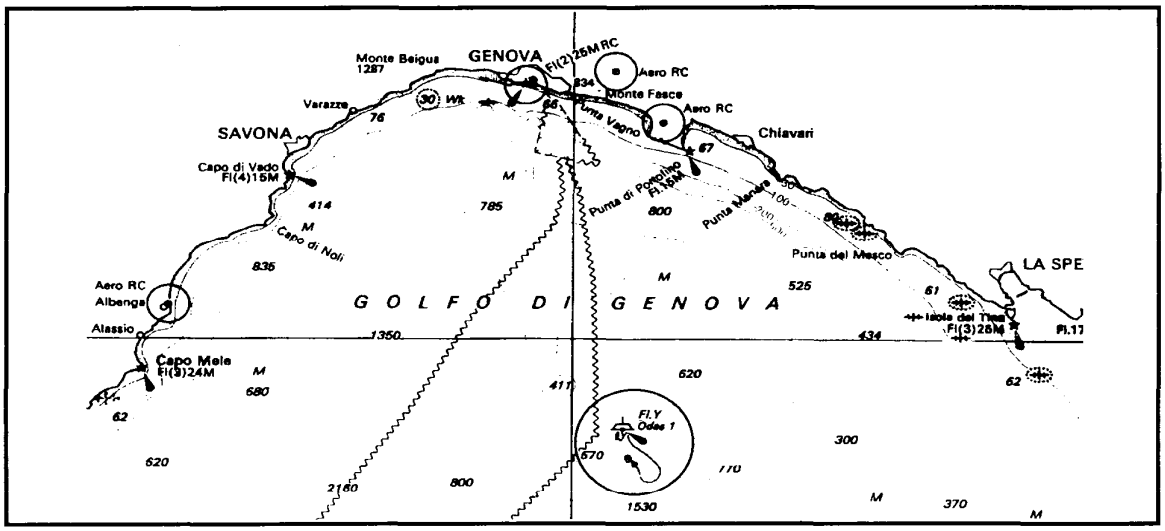


Fig. 1 - Posizione della boa ODAS Italia 1.

[1]L'ODAS (Oceanographic Data Acquisition System) Italia 1 è una boa a palo di altezza globale 53.5 m, di cui 15 m emersi e 38.5 m immersi. E' dotata nella parte emersa di sensori meteo e nella parte immersa di sensori oceanografici. I dati acquisiti vengono trasmessi a terra tramite telefonia cellulare.

La suddetta struttura, rappresentando un substrato solido in un ambiente del largo, è assimilabile ad "un'isola in miniatura" ed aggrega una comunità peculiare che spazia dai pesci pelagici, che rispondono all'effetto FAD (Fish Aggregating Device) della struttura (Relini, 1993; Relini *et al.,* 1994), agli organismi bentonici che si insediano sulla stessa (Relini, 1990; Relini *et al,* 1990; Siccardi *et al,* 1994; Montanari *et al.,* 1995). E' stato quindi possibile lo studio di organismi bentonici raccolti sui substrati artificiali collocati a diverse profondità in un ambiente molto lontano dalla costa. Scopo del lavoro è la descrizione di aspetti qualitativi e quantitativi della comunità "fouling".

2. MATERIALI E METODI

Lo studio del macrofouling associato alla boa è stato eseguito utilizzando pannelli di cembonit [2], delle dimensioni di 20x30x0,4 cm, alloggiati in due gabbie portapannelli circolari fissate sul corpo boa, alle profondità di 12 e 33 m (Fig. 2).

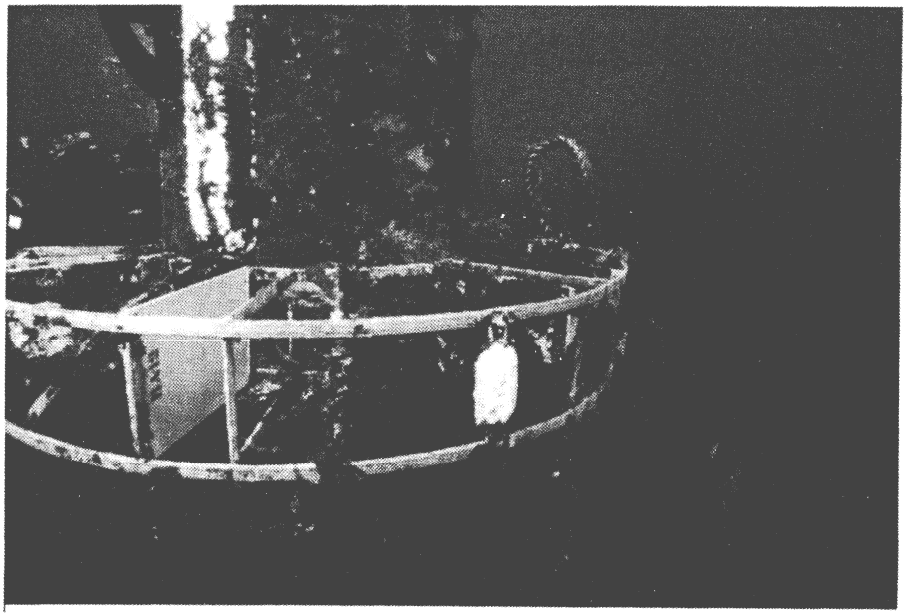


Fig. 2 - Struttura porta pannelli fissata al corpo boa alla profondità di 12 m. Si nota, accanto a pannelli già insediati, un pannello appena immerso.

L'esperienza è iniziata il 28/6/92 con l'immersione, a ciascuna delle due profondità, di una prima serie di 12 pannelli, per un totale di 24. Di questi, 10 sono ancora immersi, al fine di ottenere osservazioni a lungo termine sulla comunità bentonica, mentre 14 sono stati prelevati e sostituiti con altre serie, secondo la periodicità semestrale prevista dal piano sperimentale, influenzata però dalle condizioni meteomarine e dalla disponibilità di mezzi idonei per raggiungere la boa. Complessivamente, al 2/10/95, sono stati prelevati 33 pannelli.

[2]Calcio silicato rinforzato con fibre di cellulosa e stabilizzato in autoclave.

Nel presente lavoro sono riferiti i dati relativi a 12 pannelli (6 posti alla profondità di 12 m e 6 alla profondità di 33 m) immersi tutti all'inizio dell'esperienza e prelevati dopo 3, 9, 14, 18, 24, 40 mesi di immersione secondo lo schema seguente:

DATA IMMERSIONE	DATA PRELIEVO	PERIODO DI IMMERSIONE
28/6/92	3/10/92	3 MESI
28/6/92	28/3/93	9 MESI
28/6/92	21/8/93	14 MESI
28/6/92	19/12/93	18 MESI
28/6/92	12/7/94	24 MESI
28/6/92	2/10/95	40 MESI

Tali pannelli sono stati convenzionalmente definiti "a periodo di immersione crescente". Su entrambi i lati dei suddetti pannelli sono stati effettuati:

- l'identificazione delle specie;
- il conteggio degli individui, per le specie appartenenti ai taxa dei Bivalvi e dei Serpulidi;
- la determinazione degli indici di ricoprimento: il ricoprimento[3] per ciascun taxon è stato valutato separatamente per i due lati del pannello, verificando la sostanziale equivalenza delle due superficie e mediando successivamente i due valori. E' stato quindi determinato l'indice di ricoprimento, che viene espresso con la scala del coefficiente di abbondanza-dominanza di Braun-Blanquet:

Indice di ricoprimento	Percentuale di superficie occupata
+	Ricoprimento trascurabile
1	Inferiore al 5% della superficie
2	Tra il 5% ed il 25% della superficie
3	Tra il 25% ed il 50% della superficie
4	Tra il 50% ed il 75% della superficie
5	Maggiore del 75% della superficie

- la determinazione del peso umido, del peso secco e del peso delle ceneri della totalità degli organismi insediati su entrambi i lati del pannello. Tale valore è stato diviso per la superficie totale del pannello (12 dm), al fine di ottenere il valore riferito all'unità di superficie (g/dm^2).

3. RISULTATI

Complessivamente sui 12 pannelli "a periodo di immersione crescente" sono stati identificati 41 taxa animali, appartenenti a Foraminiferi, Folliculinidi, Poriferi , Idroidi,

[3]Secondo la definizione di Boudouresque (1971) con ricoprimento si intende la percentuale di superficie del substrato coperta in proiezione dall'insieme degli individui di un taxon, e viene valutato per ogni taxon.

Attiniarii, Policheti Erranti, Policheti Sedentari, Anfipodi, Picnogonidi, Gasteropodi Prosobranchi ed Opistobranchi, Bivalvi, Briozoi ed Ascidiacei.

In tabella 1 sono riportati i 41 taxa identificati alle due profondità di studio. Di questi, 27 risultano comuni ad entrambe le profondità mentre 5 sono stati rinvenuti soltanto a -12 m e 9 a -33 m.

Tab. 1 - Elenco dei taxa animali rinvenuti sui pannelli "a periodo di immersione crescente" posti a -12 m (①) ed a -33 m (③).

Protozoi	Picnogonidi
Miniacina miniacea (Pallas) ①③	*Endeis spinosa* (Montagu) ①③
Altri Foraminiferi ①③	*Achelia echinata* Hodge ③
Folliculinidi ③	**Molluschi**
Poriferi	Gasteropodi Prosobranchi
Sycon sp. ①③	*Bittium reticulatum* (Da Costa) ①
Cnidari	Gasteropodi Opistobranchi
Idroidi	*Dotidae* ①
Eudendrium capillare (Alder) ①③	Altri nudibranchi ①
Clytia hemisphaerica (Linnaeus) ①③	Bivalvi
Obelia dichotoma (Linnaeus) ①③	*Mytilus galloprovincialis* Lamarck ①③
Obelia bidentata Clarke ①③	*Anomia ephippium* Linnaeus ①③
Lafoeina tenuis M. Sars ①③	*Hiatella rugosa* (Linnaeus) ①③
Attiniarii ①③	*Hiatella arctica* (Linnaeus) ①
Anellidi	*Aequipecten opercularis* (Linnaeus) ①③
Policheti Erranti ①③	*Chlamys varia* (Linnaeus) ①③
Policheti Sedentari	*Palliolum incomparabile* (Risso) ③
Pomatoceros triqueter (Linnaeus) ①③	*Modiolarca subpicta* (Cantraine) ①③
Pomatoceros lamarckii (Quatrefages) ①③	*Pteria hirundo* (Linnaeus) ③
Spirobranchus polytrema (Philippi) ①③	*Lima hians* (Gmelin) ③
Hydroides elegans (Haswell) ③	**Briozoi**
Hydroides norvegicus Gunnerus ③	*Scruparia ambigua* (D'Orbigny) ①③
Hydroides sp. ①③	*Aetea truncata* (Landsborough) ①③
Serpula concharum Langerhans ①③	**Ascidiacei**
Serpula vermicularis Linnaeus ③	*Styela canopus* (Savigny) ③
Spirorbis sp. ①③	*Botryllus schlosseri* (Pallas) ①
Artropodi	*Diplosoma listerianum* (Milne-Edwards) ①③
Anfipodi	
Caprella andreae Mayer ①③	

In figura 3 si evidenzia come il numero delle specie aumenti, ad entrambe le profondità di studio, con l'aumentare dei tempi di immersione.

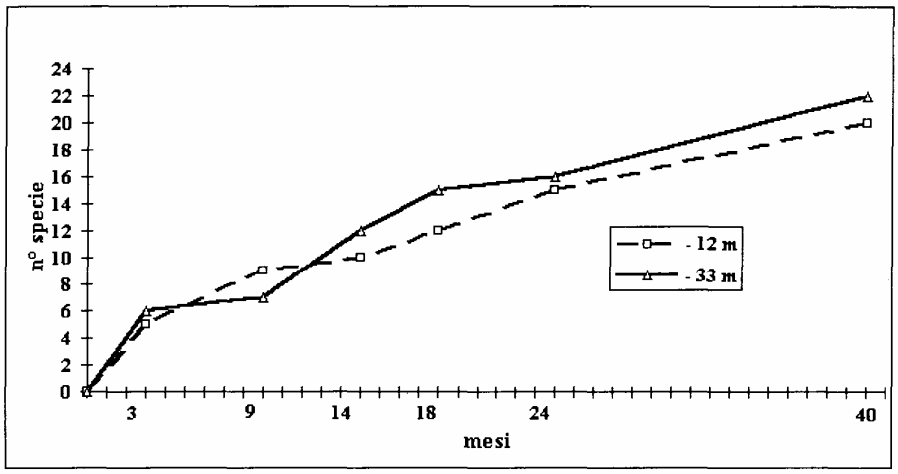


Fig. 3 - Andamento nel tempo del numero di specie sui pannelli posti alle due profondità.

In tabella 2a e 2b è riportato,per i taxa dei Bivalvi e dei Serpulidi, il numero totale di individui conteggiati sui due lati di ciascun pannello. Si osserva che, in funzione dell'aumento del tempo di immersione, si assiste, per alcune specie, ad un incremento del numero di individui, che risulta maggiore alla profondità di 33 m.

Tab. 2a - Numero totale di individui conteggiati sui due lati del pannello.

TAXA	3 MESI		9 MESI		14 MESI		18 MESI		24 MESI		40 MESI	
BIVALVI	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m
Mytilus galloprovincialis	--	--	--	--	1	2	1	--	7	--	4	6
Anomia ephippium	--	--	--	--	--	2	--	4	5	4	2	6
Chlamys varia	--	--	--	--	--	--	--	4	11	2	--	3
Aequipecten opercularis	--	--	--	--	--	8	--	11	6	4	--	1
Palliolum incomparabile	--	--	--	--	--	2	--	4	--	2	--	--
Hiatella rugosa	--	--	--	--	--	--	1	3	15	--	--	3
Hiatella arctica	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3	--
Modiolarca subpicta	--	--	1	--	1	--	1	3	2	3	7	6
Lima hians	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1
Pteria hirundo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1

Tab. 2b - Numero totale di individui conteggiati sui due lati del pannello.

TAXA	3 MESI		9 MESI		14 MESI		18 MESI		24 MESI		40 MESI	
SERPULIDI	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m	-12 m	-33 m
Spirobranchus polytrema	--	--	1	1	5	24	14	37	24	17	13	34
Pomatoceros triqueter	4	--	6	12	6	11	14	22	13	10	15	20
Pomatoceros lamarckii	2	--	--	--	11	--	2	--	11	8	--	--
Hydroides elegans	--	1	--	6	--	6	--	--	--	--	--	--
Hydroides norvegicus	--	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hydroides sp.	--	4	4	16	3	19	7	8	--	--	--	--
Serpula concharum	4	4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Serpula vermicularis	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--

In figura 4 è riportato il ricoprimento medio percentuale, registrato per ciascun taxon, alle due profondità di studio, per tempi crescenti di immersione.

I gruppi sistematici che assumono maggiore importanza nelle prime fasi dell'insediamento sono gli Idroidi e gli Ascidiacei coloniali. Per i primi si assiste ad una successione temporale di specie, per cui le colonie a sviluppo reptante di *Clytia hemisphaerica* e *Lafoeina tenuis,* presenti sui substrati poco insediati (3 e 9 mesi di immersione), vengono sostituite, sui pannelli maggiormente insediati (14, 18 e 24 mesi di immersione), da robuste colonie arborescenti di *Eudendrium capillare.* I secondi, rappresentati quasi esclusivamente dai Didemnidi *(Diplosoma listerianum),* colonizzano in maniera massiva i substrati fin da 9 mesi di immersione per tendere, successivamente, a perdere il loro carattere di dominanza e poi scomparire quasi completamente.

Con l'aumentare del periodo di immersione subentrano altri taxa rappresentati principalmente da Policheti Sedentari e Bivalvi. Questi ultimi costituiscono il gruppo con la più alta diversità specifica. Tra le dieci specie censite quelle che caratterizzano l'insediamento per l'elevato numero di individui sono *Aequipecten opercularis, Chlamys varia* e *Palliolum incomparabile* mentre quelle che raggiungono le dimensioni maggiori sul pannello di 40 mesi sono *Mytilus galloprovincialis* (7-10,5 cm di lunghezza) e *Pteria hirundo* (11,5 cm di lunghezza).

L'esame dei valori ponderali (Fig. 5) consente di evidenziare un progressivo aumento della biomassa con il tempo, ad entrambe la profondità, sebbene più marcato a -33 m. In particolare si osserva come i valori relativi al pannello immerso per 40 mesi, al livello più profondo, siano circa il doppio di quelli ottenuti per il corrispondente pannello immerso al livello più superficiale, a causa soprattutto della presenza di Bivalvi di grandi dimensioni.

4. CONCLUSIONI

Questa ricerca ha permesso di evidenziare la composizione e l'evoluzione nel tempo dei popolamenti di substrati artificiali fissati alla boa ODAS Italia 1.

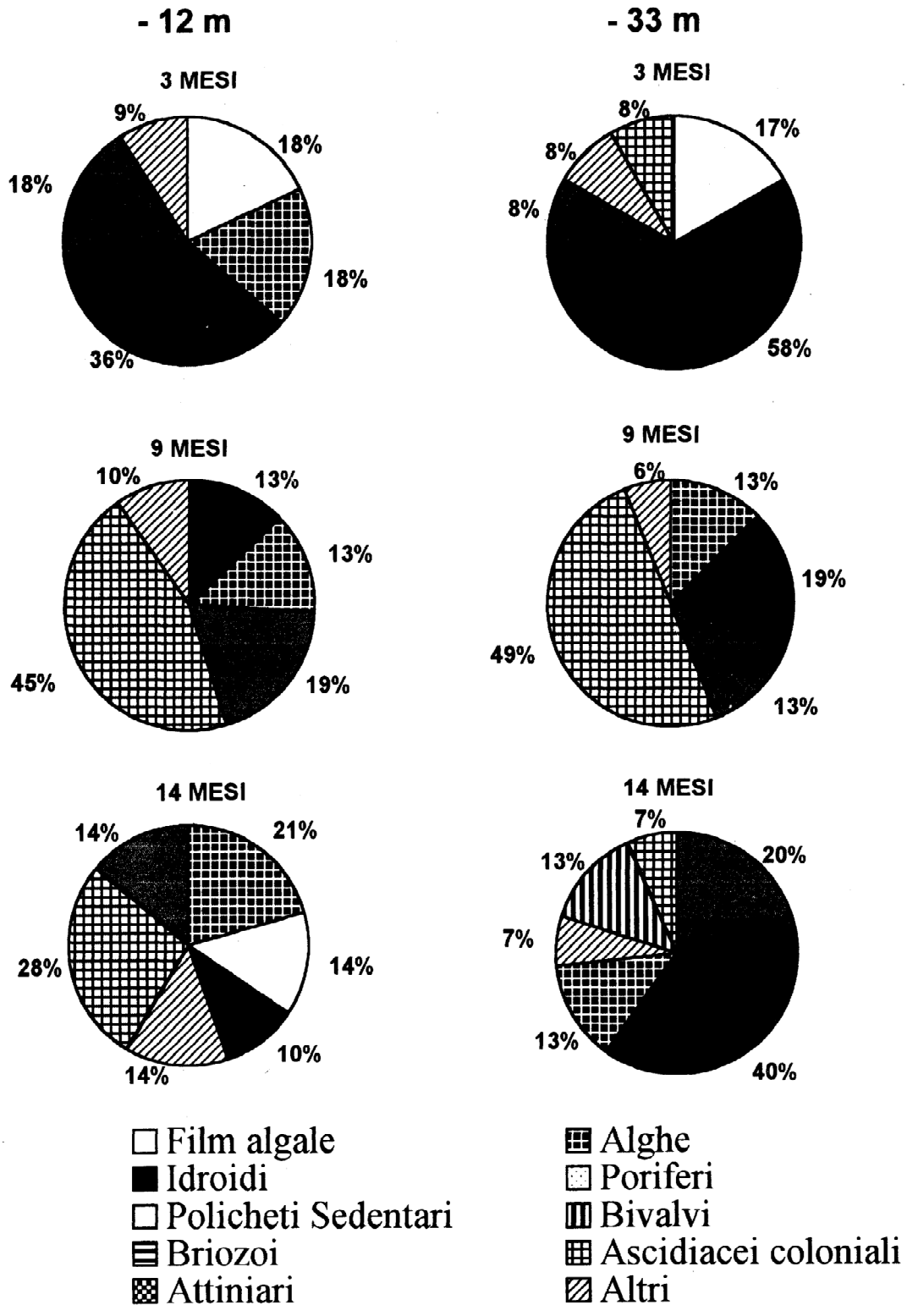


Fig. 4a - Ricoprimento medio per ciascun taxon, alle due profondità di studio, nel corso del tempo.

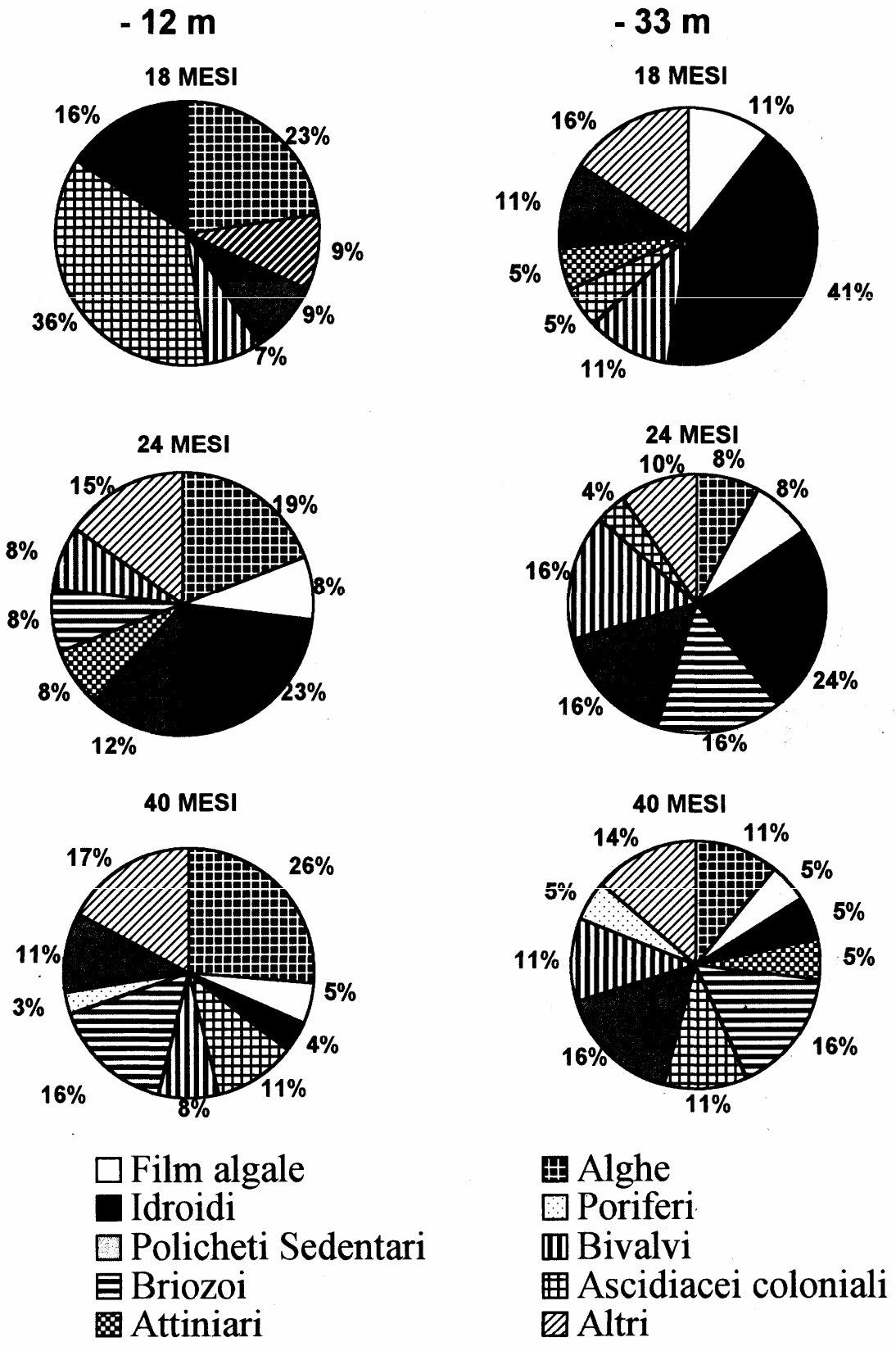


Fig. 4b - Ricoprimento medio per ciascun taxon, alle due profondità di studio, nel corso del tempo.

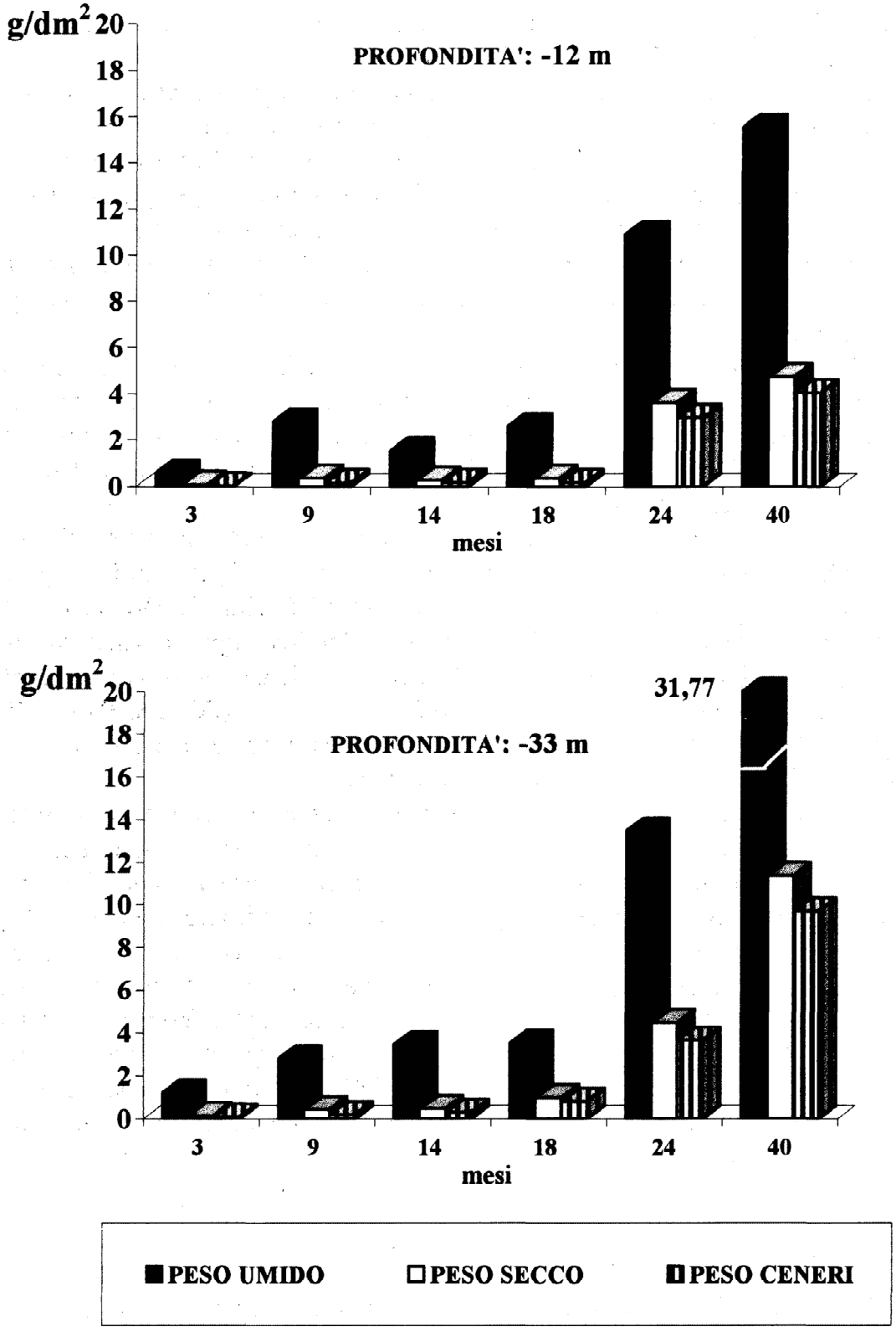


Fig. 5 - Peso umido, peso secco e peso delle ceneri del fouling espresso in grammi e riferito all'unità di superficie del pannello (g/dm^2).

L'esame dei pannelli "a periodo di immersione crescente" mostra come con l'aumentare del tempo di immersione del substrato, si verifichi un aumento del numero di specie insediate ad entrambe le profondità di studio.

Inoltre, osservando l'evoluzione della comunità bentonica che si forma sui substrati nel corso dei 40 mesi di osservazioni, si rileva come i pannelli immersi per periodi brevi (3, 9 mesi) siano caratterizzati dalla presenza di pochi taxa, che occupano gran parte della superficie disponibile, mentre sui pannelli immersi per periodi maggiori (14 ed ancor più 18, 24, 40 mesi), l'insediamento di nuovi taxa determini invece una più differenziata ripartizione degli spazi. Ciò è particolarmente evidente alla profondità di 33 m, dove si evidenzia anche un maggior valore della biomassa, soprattutto per i substrati immersi per 40 mesi.

La colonizzazione osservata presso la boa ODAS Italia 1 pone il problema della disponibilità di larve in questo particolare ambiente del largo; bisogna ricordare che l'area è caratterizzata dall'incontro di correnti marine di origine diversa (Bétoux *et al.,* 1988; Sournia *et al.,* 1990). Tale idrodinamismo verosimilmente crea le condizioni per un trasporto larvale di tutto rilievo.

Bisogna inoltre considerare che la dispersione degli invertebrati marini (Giangrande *et al.,* 1994) può avvenire anche tramite la navigazione, con il trasporto di individui adulti insediati sulle carene delle imbarcazioni (Relini & Montanari, 1973; Scheltema *et al.,* 1981) o su oggetti galleggianti quali alberi ed alghe (Highsmith, 1985). La presenza quasi costante, sui pannelli esaminati, di specie caratteristiche di ambienti portuali come *Mytilus galloprovincialis* e *Hydroides norvegicus* (Péres & Picard, 1964) può essere giustificata da questo tipo di dispersione, essendo la boa sul percorso di numerose rotte di navigazione commerciale e da diporto.

E' infine necessario osservare che alcune specie che costituiscono le associazioni bentoniche studiate sono state rinvenute una sola volta e spesso risultano essere rappresentate da un unico individuo *(Lima hians, Pteria hirundo, Hiatella arctica, Hydroides norvegicus, Serpula vermicularis).* Inoltre in un confronto con uno studio del fouling insediato direttamente sulla superficie del corpo boa, studio condotto nel corso del precedente ciclo (9/1/87-14/4/91) di operatività del sistema boa nella stessa posizione geografica (Relini *et al,* 1990), sono state riscontrate differenze qualitative e quantitative rispetto alla presente serie sperimentale. Si può pertanto ritenere che, per la durata attuale dell'esperimento, la composizione della comunità sia ancora in parte casuale e del tutto aperta ad arricchimenti successivi che potranno essere evidenziati nel prosieguo della ricerca.

BIBLIOGRAFIA

Béthoux J.P., Prieur L. & Bong J.H. 1988. Le courant Ligure au large de Nice. *Oceanologica Acta* n. sp.: 59-67.

Boudouresque C.F. 1971. Méthodes d'études qualitatives et quantitatives du benthos (en particulier du phytobenthos). *Tethys, 3* (1): 79-104.

Giangrande A., Ceraci S. & Belmonte G. 1994. Life-cycle and Life-history diversity in marine invertebrates and the implications in community dynamics. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 32: 305-333.

Highsmith R.C. 1985. Floating and algal rafting as potential dispersal mechanisms in brooding invertebrates. *Mar. Ecol. Progress Series,* 25: 169-179.

Montanari M., Bargiacchi S., Rismondo A. & Relini G. 1992. Comunità fouling della piattaforma C.N.R. di Venezia. *Oebalia, suppl* 17: 373-374.

Montanari M., Moschella P., Relini M., Siccardi A. & Tixi F. 1995. ODAS Italia 1: Offshore Fouling Monitoring System. *Workshop on Monitoring in the European Western Mediterranean,* Murcia (Spain), 9-11 ottobre 1995: 1.

Montanari M., Scoleziti P., Bargiacchi S. & Relini G. 1990. Macrofouling on a platform in the Gulf of Genoa. *Proc. XXV European Marine Biology Symposium,* Ferrara, 10-15 settembre 1990: 1.

Péres J.M. & Picard J. 1964. Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Mediterranee. *Extrait du Recueil de Travaux de la Station Marine d'Endoume,* 31 (47): 1-137.

Relini G., Ceraci S., Montanari M. & Romairone V. 1976. Variazioni stagionali del fouling sulle piattaforme off-shore di Ravenna e Crotone. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol,* 31 (1-2): 227-256.

Relini G. & Montanari M. 1973. Introduzione di specie marine attraverso le navi. *Atti III Simposio Nazionale sulla Conservazione della natura,* Bari, 2-6 maggio 1973, 1: 263-280.

Relini G., & Montanari M. 1988. Mussels in the offshore fouling of Italian sea. *Proc. VII Int. Congr. on Mar. Corr. and Fouling,* Valencia, 7-11 novembre 1988: 1-25.

Relini G., Relini M. & Montanari M. 1990. Off-shore buoy fouling in the Ligurian Sea. *Rapp. Comm. int. Mer Medit., 32(1):* 26.

Relini M. 1990. Growth of *Mytilus galloprovincialis* in offshore waters of the Ligurian Sea. *Rapp. Comm. int. Mer Medit.,* 32 (1): 25.

Relini M. 1993. Pesci associati ad un habitat artificiale del largo. *Biologia Marina,* 1: 201-204.

Relini M., Relini Orsi L. & Relini G. 1994. An offshore buoy as a FAD in the Mediterranean. *Bulletin of Marine Science,* 55 (2-3): 1099-1105.

Scheltema R.S. & Carlton J.T. 1984. Methods of dispersal among fouling organisms and possible consequences for range extension and geographical variation. In: *Marine. Biodeterioration: An Interdisciplinary Study,* Eds. Costlow J.D. & Tipper R.C., Naval Institute Press, Annapolis, Maryland: 127-133.

Siccardi A., Montanari M. & Relini M. 1994. BOA ODAS ITALIA 1: laboratorio marino d' altura in Mar Ligure. *Biol. Mar. Medit.,* 1 (1): 133-134.

Sournia A., Brylinski J.M., Dallot S., Le Corre P., Leveau M., Prieur L. & Froget C. 1990. Fronts hydrologiques au lange des còtes fran9aise: Les sites-ateliers du programme Frontal. *Oceanologica Acta,* 13 (4): 413-438.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 489 - 497

STUDIO PRELIMINARE DEL POPOLAMENTO ITTICO COSTIERO DELLE ISOLE EOLIE (TIRRENO MERIDIONALE, MEDITERRANEO)

Marino VACCHI, Mario LA MESA, Gabriele LA MESA

ICRAM - Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare, Roma

ABSTRACT

The coastal fish assemblage of the proposed marine park of the Aeolian Archipelago (southern Tyrrhenian Sea, Mediterranean) was studied in order to define, in preliminary terms, its faunistic characteristics as species composition, distribution and abundance. The study was carried out by means of *in situ* visual techniques during July 1995. Replicate visual censuses of fish along 50 x 5 m strip transects and random courses were performed at six aeolian islands and at one mainland site dose to the archipelago. In the whole Aeolian Islands area, 35 fish species belonging to 11 families were recorded; the dominant families being Labridae (12 species) and Sparidae (9 species). From these preliminary data, some peculiar features can be drawn. The species composition of the different sites resulted very similar, although a low number of fish species in the more remote and smallest islands was observed. Furthermore several differences among the different Aeolian Islands and the Continental site in the abundance of some sedentary fishes were noted. Finally, the finding of only small-size individuals of the dusky grouper *(Epinephelus marginatus),* species heavily targeted by spearfishing, stresses the need of conservation measures.

1. INTRODUZIONE

L'Arcipelago delle Eolie è compreso tra le aree costiere italiane di pregio naturalistico in cui sono previste misure di tutela (Legge 979/1982). Lo studio della fauna ittica costiera di queste isole, come di altre zone protette o di cui è prevista la tutela, è il presupposto indispensabile alla valutazione dell'efficacia delle misure di protezione; esso rappresenta inoltre una fonte di informazioni ecologiche e biologiche di base nella conoscenza degli ecosistemi marini mediterranei. Lo studio ittiologico in aree protette privilegia metodi di minimo impatto per l'ambiente, che non prevedono l'uso di attrezzi convenzionali di campionamento (reti, ecc.) ma che si basano su censimenti visuali *in situ* (Harmelin-Vivien *et al,* 1985).

I censimenti visuali *in situ* permettono sia la caratterizzazione quali-quantitativa e strutturale del popolamento ittico (Harmelin, 1987 e 1990) sia la valutazione degli effetti derivanti dalla protezione degli stocks ittici costieri (Garcia Rubies & Zabala, 1990; Polunin & Roberts, 1993).

Studi riguardanti l'ittiofauna costiera di zone protette o di cui è prevista la protezione basati su censimenti visuali sono stati condotti recentemente anche in Italia (Tunesi & Vacchi, 1993; Biagi *et al.,* in stampa; Vacchi *et al.,* in stampa).

Nel corso della campagna di ricerca EOCUMM95 (Luglio 1995) nell'Arcipelago delle Eolie, per mezzo della nave della Marina Militare Italiana "R. Paolucci", è stato possibile effettuare censimenti ittici visuali in gran parte delle isole eoliane. Lo studio ha permesso di definire, anche se in modo preliminare data la brevità della campagna, alcune caratteristiche dell'ittiofauna costiera eoliana (composizione quali-quantitativa, distribuzione e struttura demografica). Le attività hanno previsto anche un rilevamento lungo la costa calabrese (Capo Vaticano) per confrontare il popolamento ittico delle Eolie con quello di un area continentale posta alla stessa latitudine.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Tecniche di rilevamento

I rilevamenti sono stati realizzati in immersione tra il 4 e l'8 Luglio 1995. Le attività sono state condotte durante le ore diurne utilizzando sia la tecnica dei percorsi casuali, che la tecnica dei transetti secondo le metodologie di censimento *in situ* descritte da Harmelin-Vivien *et al. (* \ 985).

I percorsi casuali hanno avuto ciascuno la durata standard di 15 minuti; tutte le specie ittiche avvistate sono state registrate; le dimensioni sono state annotate in base a quattro categorie di taglia ottenute dividendo la lunghezza massima raggiungibile dalla specie (Fischer *et al.,* 1987) in quattro intervalli (<25%; <25-50%>; <51-75%>; >75%). In totale sono stati realizzati 14 percorsi casuali in un intervallo batimetrico compreso tra 2 e 28 m.

I rilevamenti sui transetti sono stati condotti su strisce di fondale di 250 m^2 (50x5 m) con popolamento bentonico e conformazione del fondale il più possibile omogenei. Durante l'esecuzione dei transetti è stata annotata anche l'abbondanza relativa delle specie ittiche gregarie in base a classi di numerosità, secondo una progressione geometrica approssimativamente in base 2 (Harmelin-Vivien *et al.,* 1985). Nei diversi siti di studio sono stati previsti sia transetti superficiali (3-5 m.) sia transetti profondi (10-15 m); in ogni transetto sono state effettuate due repliche, per un totale di 26 rilevamenti.

2.2. Siti di studio

La campagna di rilevamento è stata effettuata in tutte le isole componenti l'arcipelago delle Eolie, tranne Salina, e in una stazione di confronto sulla costa calabrese, Capo Vaticano (Fig. 1).

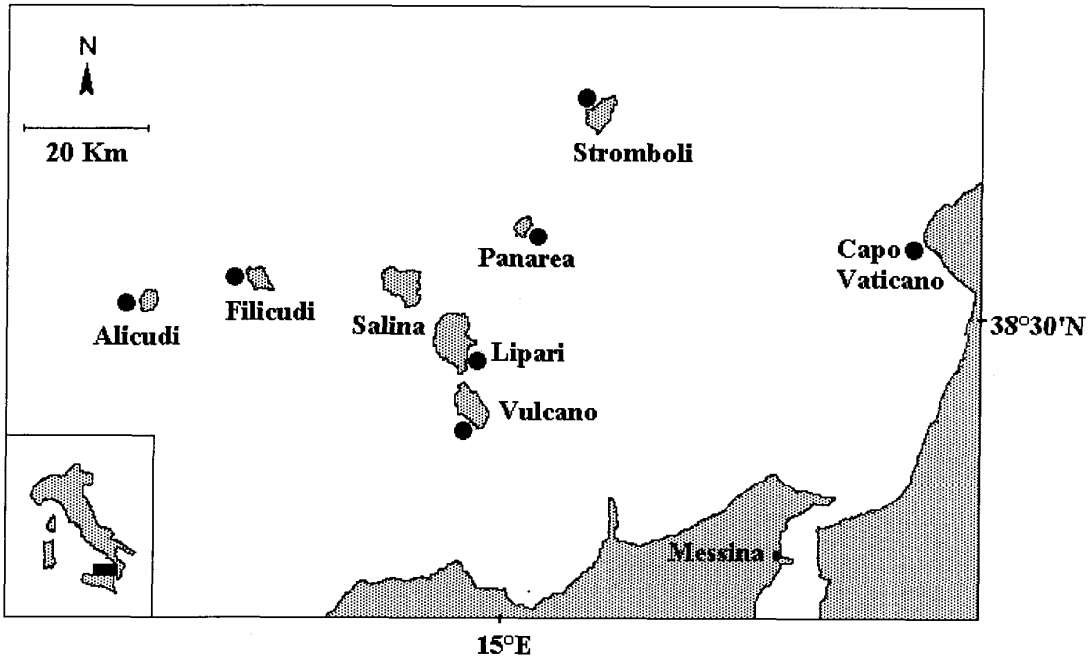


Fig. 1 - *Siti di studio* (●).

In ogni sito di studio sono stati di norma effettuati sia percorsi casuali sia transetti. In tabella 1 sono riportati, il numero di percorsi casuali e di transetti, gli intervalli di profondità considerati ed il tipo di popolamento bentonico, nelle diverse località.

Tab. 1 - Località campionate e caratteristiche dei rilevamenti. P=Posidonia; RAF=Roccia e massi con Alghe Fotofile; S=Sabbia.

Località	**N° Percorsi casuali**	**N° Transetti superficiali (3-5 m)**	**N° Transetti profondi (10-15 m)**
Lipari (Scoglio della secca)	2 (2-28 m)	2 (P+RAF)	2 (P)
Filicudi (Scoglio La Mitra)	2 (3-12 m)	2 (RAF)	2 (RAF+P)
Alicudi (Scoglio Galera)	2 (3-12 m)	2 (RAF)	2 (RAF)
Capo Vaticano	2 (4-12 m)	2 (RAF)	2 (RAF+S)
Stromboli (Vallonazzo)	1 (3-7 m)	2 (RAF+S)	Non effettuati
Panarea (Formiche)	3 (4-20 m)	2 (RAF)	2 (RAF+P)
Vulcano (Punta Bandiera)	2 (5-15 m)	2 (RAF+P)	2 (P)

2.3. Analisi dei dati

Gli aspetti qualitativi, sono stati valutati in base alla ricchezza specifica (numero di specie) di ogni sito studiato. E' stata inoltre calcolata la frequenza di ritrovamento delle singole specie Fr (percentuale di censimenti positivi sui totali effettuati) nelle Isole Eolie e a Capo Vaticano.

Per un'analisi quantitativa dei risultati, i dati di numerosità stimati in classi di abbondanza sono stati utilizzati assegnando, per le classi di numerosità superiori all'unità, il valore intermedio. E' stato quindi stimato, come indice di abbondanza, il numero di esemplari nei transetti di ciascun sito di studio espresso come media dei valori ottenuti nelle due repliche.

E' stata condotta una analisi delle preferenze batimetriche comparando le abbondanze numeriche delle specie dominanti (Fr > 75%) nei transetti superficiali e profondi. Avendo verificato con il test di di Komolgorov - Smirnov che i dati non seguono una distribuzione normale, il confronto è stato eseguito utilizzando il test non parametrico U Mann-Whitney, implementato nel programma Monitor (Mecozzi & Lauricella Ninotta, 1993).

3, RISULTATI E DISCUSSIONE

Nei diversi siti di studio eoliani il numero di specie è compreso tra 17 (Alicudi) e 24 (Vulcano):per un totale di 35 specie nell'intero Arcipelago; nel sito continentale di Capo Vaticano sono state censite 22 specie (Tab. 2). Tutte le specie censite a Capo Vaticano sono state rilevate anche nelle Eolie ad eccezione di *Gobius cruentatus* e *Scorpaena notata.*

Le famiglie più rappresentate sono i Labridi con 12 specie e gli Sparidi con 9 specie. Le specie più frequentemente incontrate nei siti di studio eoliani (frequenza superiore al 75 %) sono *Coris julis, Symphodus ocellatus, Symphodus tinca, Thalassoma pavo, Serranus scriba* ed il pomacentride *Chromis chromis.*

Comparando i dati delle Eolie con la stazione di Capo Vaticano, è da sottolineare la relativa rarità delle varie specie di saraghi, soprattutto le specie di importanza commeciale *(Diplodus puntazzo, D. sargus* e *D. vulgaris):* nei siti di studio insulari tali specie sono state censite con frequenze inferiori al 6 per cento, con esemplari medio-grandi (Tab. 2). Questo dato si discosta notevolmente da quanto osservato mediante censimenti visuali in altre aree mediterranee, sia protette come Port Cros (Harmelin, 1987), Gorgona (Vacchi *et al.,* in stampa) e le Isole Medes (Garcia Rubies & Zabala, 1990), che soggette a normale attività di prelievo da pesca come il Promontorio di Portofino (Tunesi & Vacchi, 1993) e la costa tirrenica siciliana (D'Anna *et al.,* in stampa).

Un altro dato di rilievo riguarda l'avvistamento della cernia bruna *(Epinephelus marginata.*;)* in tre isole (Filicudi, Lipari e Panarea), con esemplari di piccola e media taglia.

La ricchezza specifica nelle isole più remote dell'arcipelago (Alicudi, Filicudi e Stromboli) è risultata leggermente minore rispetto a quelle più vicine alla costa siciliana (Vulcano, Lipari e Panarea) e al sito continentale (Tab. 2).

Nei transetti superficiali le specie più comuni (Fr > 75%) sono, nell'ordine, *C. chromis, T. pavo* e *S. ocellatus;* nei transetti profondi *C. chromis* risulta la specie predominante seguita da *C. julis, S. scriba* e *S. ocellatus.* Il labride *Symphodus tinca* è risultato comune nei due tipi di transetti (Tab. 3).

Tab. 2 - Specie censite nel corso dei rilevamenti visuali nelle diverse località studiate. Fr = frequenza percentuale di ritrovamento. Sono indicate le classi di taglia (s=piccola, m=media, l=grande, v=molto grande).

Taxa / Località	Eolie	Alicudi	Filicudi	Lipari	Vulcano	Panarea	Stromboli	C. Vaticano	
	Fr	taglie						**Fr**	taglie
Apogonidae									
Apogon imberbis	61,76	l	m,l	l	l	s,m,l,v	m,l	83,83	l
Centracanthidae									
Spicara maena	26,47			m,l,v	m	m,l			
Gobidae									
Gobius bucchichi	8,82			m,l			m,l		
Gobius cruentatus								16,66	l
Gobius geniporus	2,94				l				
Labridae									
Coris julis	97,06	s,m,l,v	s,m,l,v	s,m,l,v	m,l,v	s,m,l,v	m,l	100	m,l,v
Labrus merula	2,94	l							
Labrus viridis	2,94		l						
Symphodus cinereus	2,94				s,l				
Symphodus doderleini	5,88				s	m,l		16,66	l
Symphodus mediterraneus	61,76	m,l,v	m,l,v	m,l	s,m,l,v	m,l,v	l	100	m,l,v
Symphodus melanocercus	8,82	l				l			
Symphodus ocellatus	97,06	s,m,l,v	s,m,l,v	s,m,l,v	s,m,l,v	m,l	m,l,v	100	s,m,l,v
Symphodus roissali	70.59	s,m,l,v	m,l,v	l	s,m,l,v	m,l,v	l	83,33	m,l
Symphodus rostratus	44,12		l	m,l	s,m,l	l	m	33,33	m,l
Symphodus tinca	82,35	m,l	s,m,l	s,m,l	m,l,v	m,l,v	m,l	100	s,m,l
Thalassoma pavo	82,35	s,m,l,v	s,m,l	m,l,v	s,m,l,v	s,m,l,v	s,m,l	100	s,m,l,v
Mugilidae									
Mugil sp.	2,94				l				
Mullidae									
Mullus surmuletus	20,59	s	l	l	s,m,l	s	l	100	s,m,l
Pomacentridae									
Chromis chromis	100	s,m,l,v	s,m,l,v	m,l	m,l,v	s,m,l,v	s,m,l,v	100	s,m,l
Scorpaenidae									
Scorpaena notata								16,66	m
Scorpaena porcus	8.82				m		m		
Scorpaena scrofa	2,94					v			
Serranidae									
Anthias anthias	2,94			m					
Epinephelus marginatus	11,76		s,m	s,m		m			
Serranus cabrilla	14,71	l	l				m	100	m,l
Serranus scriba	94,12	m,l,v	m,l,v	m,l,v	s,m,l,v	m,l,v	m,l	100	m,l,v
Sparidae									
Boops boops	8,82	l		m	l			33,33	m,l
Diplodus annularis	44,12		m,l	m,l	s,m,l	m,l	m	16,66	v
Diplodus puntazzo	2,94					v		16,66	l
Diplodus sargus	5,88			m	m			50	s,m
Diplodus vulgaris	2,94				m			50	m
Pagellus acarne	8,82						m		
Oblada melanura	32,35	m	m	m	m	m	m	16,66	m
Sarpa salpa	35,29	m	s,m	s,m	m	m	m	33,33	s,m
Spondyliosoma cantharus	32,35		m,l	s,m	m	m,l			
Tripterygidae									
Tripterygion spp.	23,53	m,l	l			m	l		
N° totale di specie	35	17	19	21	24	22	19	22	

Tab. 3 - Lista delle specie censite nei transetti con relativa frequenza di ritrovamento (Fr), categoria spaziale *sensu* Harmelin, 1987 (Cat.) e abbondanza e relativa deviazione standard per le varie località (N ± SD) nei transetti superficiali (S) e profondi (P).

Specie	Fr	Cat.	Alicudi N±SD		Filicudi N±SD		Lipari N±SD		Vulcano N±SD		Panarea N±SD		Stromboli N±SD	CapoVaticano N±SD	
			S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	S	P
Apogon imberbis	53.	6		2.2±3.2	1.5±0.7	24.7±3	0.5±0.7		9.5±4.2			5±0.7	4.5±3.5	8±0	1.5±2.1
Boops boops	7.7	1								4±5.6				0.5±0.7	
Chromis chromis	100	2	90.7±2	150±56	65.2±2	20±24.	61.2±4	61.5±25	90.2±3	122±82	21.5±1	145±13	162±26	134±62	25.7±8.
Coris julis	96.	5	7.2±3.2	24±2.8	7±2.1	19±4.2	19.5±6.	10.2±2.	8±2.1	29.5±2.	1.5±0.7	22±17.	2±2.8	23±10.	77.7±1.
Diplodus annularis	15.	3							2.7±1.1	3.5±3.5					
Diplodus sargus	7.7	3							0.5±0.7					1.7±2.5	
Diplodus vulgaris	3.8	3													1.5±2.1
Gobius bucchichi	7.7	6											2±1.4		
Mugil sp.	3.8	1							0.5±0.7						
Mullus surmuletus	34.	4	0.5±0.7			0.5±0.7		0.5±0.7			1±1.4			2.7±2.5	
Oblada melanura	19.	1			0.5±0.7		10.5±1		14.5±1						
Pagellus acarne	7.7	3											11.7±1		
Sarpa salpa	19.	3	10±14.		2.2±3.2	0.5±0.7						10±14.		10±14.	
Scorpaena porcus	7,7	6							0.5±0.7				0.5±0.7		
Serranus cabrilla	30.	5		1±0	0.5±0.7								0.5±0.7	1±0	2.5±0.7
Serranus scriba	92.	5	0.5+0.7	1.5±0.7	2±1.4	2.5±0.7	2±1.4	3±0	7.5±2.1	2.5±0.7	1±1.4	5±1.4	1.5±0.7	6.5±0.7	6.5±2.1
Spicara maena	23.	1					12.2±1	12.7±1.		0.5±0.7		10±14.			
Spondyliosoma cantharus	9.2	3			0.5±0.7		1±0				2.5±0.7				
Symphodus doderleini	3.8	5												0.5±0.7	
Symphodus mediterraneus	53.	5		0.5±0.7	1.5±0.7	0.5±0.7	0.5±0.7			0.5±0.7	3±2.8	2.5±0.7		3±2.8	2.5±0.7
Symphodus melanocercus	11.	5		0.5±0.7								2.5±2.1			
Symphodus ocellatus	96.	5	11.5±0	46.2±4.	29.2±3.	6±2.8	8±0.7	1±1.4	23.2±3.	8.5±2.8	6.7±5.3	25.5±7.	35±6.4	19.7±7.	8.5±3.5
Symphodus roissali	65.	5	11.2±1	4.5±0.7	7±0.7	1±1.4	1.5±2.1		5.7±1.1			3.7±2.5	3±1.4	4.7±3.9	0.5±0.7
Symphodus rostratus	38.	5					0.5±0.7		2±1.4	2±0		1.5±0.7	0.5±0.7		0.5±0.7
Symphodus tinca	80.	5	3±4.2	0.5±0.7	6.5±3.5	5±1.4	7.5±2.1	2.2±3.2	13.5±3.		4±0	2±1.4	1±1.4	9.7 ±	4.5 ±
Thalassoma pavo	76.	5	14±8.5	2.2±3.2	11.5±7.	1±1.4	8.7±0.3				68.5±1	12.2±3.	7.7±3.9	15±7.1	2.5±0.7
Tripterygion spp	11.	6	0.5±0.7		0.5±0.7								0.5±0.7		

Confrontando i dati dei transetti superficiali e di quelli profondi si nota che la ricchezza specifica è maggiore in superficie (25 specie contro 18). L'abbondanza media alle due profondità ha valori piuttosto simili (rispettivamente 172 e 160 esemplari).

Dall'analisi mediante il Mann-Whitney U test sulle specie più frequenti, soltanto *T. pavo* e *C. julis* hanno abbondanze significativamente differenti tra transetti superficiali e transetti profondi (Tab. 4). In particolare *T. pavo* sembre preferire le acque più superficiali, mentre *C. julis* è più abbondante a maggiore profondità. Questo suggerisce una possibile competizione territoriale, sul piano verticale, tra i due labridi. Il presente studio non permette di chiarire le caratteristiche eco-etologiche che potrebbero essere alla base della diversa distribuzione delle due specie che, peraltro, dai dati in letteratura risultano molto simili (Tortonese, 1975).

Tab. 4 - Abbondanze nei transetti superficiali e profondi delle specie più frequenti (Fr > 75%) espresse come mediane e valore del T statistico, secondo il Mann-Whitney U test. Gli asterischi indicano i due valori significativi

Specie	Transetti superficiali (14 rilevamenti)		Transetti profondi (12 rilevamenti)		T statistico	
	Mediana	dev. stand.	Mediana	dev. stand.		
Chromis chromis	78.5	±55.59	56.5	±35.58	65	
Coris julis	7	±5.18	21.5	±13.34	23	*
Serranus scriba	2	±1.48	3	±1.48	63	
Symphodus ocellatus	17	±12.60	8.5	±8.15	65	
Symphodus tinca	5	±3.70	3	±3.70	52.5	
Thalassoma pavo	11.5	±6.67	1	±1.48	13.5	*

L'analisi di un maggior numero di dati permetterà di descrivere in maggior dettaglio le caratteristiche generali del popolamento ittico dell'Arcipelago e quelle particolari dei diversi gruppi di Isole che peraltro già si delineano da queste osservazioni preliminari.

4. CONCLUSIONI

Nonostante il numero ridotto di rilevamenti durante la breve campagna, le informazioni raccolte permettono di fare un primo quadro della composizione e della struttura del popolamento ittico costiero delle Isole Eolie.

Tutte le isole sono caratterizzate da una elevata ricchezza specifica con una certa differenziazione nei popolamenti locali.

Dal punto di vista faunistico emergono alcuni dati di notevole interesse. Per esempio, nonostante il numero relativamente ridotto dei campionamenti, nell'Arcipelago eoliano appare evidente una scarsità di saraghi, che sono invece elementi molto comuni nei popolamenti costieri del Mediterraneo Occidentale. Ciò potrebbe sia costituire una caratteristica intrinseca del popolamento ittico locale, legata alle peculiari condizioni geografiche ed ecologiche delle Isole Eolie, sia dipendere da una eccessiva pressione alieutica.

Assume inoltre rilevanza la presenza della cernia bruna che in altre aree si è fortemente rarefatta a causa della pesca subacquea e della mancanza di misure di tutela. Il rinvenimento di esemplari di taglia ridotta indica peraltro l'urgenza di misure di protezione atte a tutelare in modo specifico questa specie.

Infine, dal punto di vista ecologico è stata individuata una possibile competizione territoriale sul piano verticale tra due specie comuni di labridi *(Coris julis* e *Thalassoma pavo).*

E' evidente l'importanza di ulteriori studi faunistici ed ecologici sulla fauna ittica eoliana; allo scopo di definirne con maggiore precisione le caratteristiche e le peculiarità e di seguirne nel tempo l'evoluzione durante le fasi di attuazione dello stato di riserva marina.

RINGRAZIAMENTI

Il Prof. Francesco Faranda ha coordinato la Campagna EOCUMM95.

Un particolare ringraziamento va al Comandante Giannetti, dell'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana, responsabile dei mezzi navali EOCUMM e al Comandante della nave Raffaele Paolucci. Il Dr. Mauro Mecozzi dell'ICRAM ha fornito utili suggerimenti per l'elaborazione dei dati.

BIBLIOGRAFIA

Biagi F., Gambaccini S. & Zazzetta M. In stampa. Popolamento ittico di un'area protetta all'isola d'Elba. *Atti 27° Congresso della Società Italiana di Biologia Marina.*

D'Anna G., Badalamenti F., Lipari R., Cuttitta A. & Pipitone C. In press. .Fish assemblage analysis of a visual census survey on an artificial reef and on natural areas in the Gulf of Castellamare (NW Sicily). Proc. Ecoset '95 Conference, Tokio, 29 Oct. - 2 Nov. 1995.

Fischer W., Bauchot M.L. & Schneider M. 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour le besoins de la péche (Rev. 1). Mediterranee et mer Noire. Zone de péche 37. Volume II. Vertébrés. Rome, FAO: 761-1530.

Garcia-Rubies A. & Zabala M. 1990. Effects of total fishing prohibition on the rocky fish assemblages of Medes Islands marine reserve (NW Mediterranean). *Sci. Mar.,* 54 (4): 317-328.

Harmelin J.G. 1987. Structure et variabilité de l'ichthyofaune d'une zone rocheuse protégée en Mediterranee (Pare National de Port-Cros, France). *P.S.Z.N.I. Marine ecology,* 8 (3): 263-284.

Harmelin J.G. 1990. Ichthyofauna of the Mediterranean rocky bottoms: structure of the coralligenous ground assemblage of Port-Cros Island (National Park, France). *Mesogee, Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille,* 50: 23-30.

Harmelin-Vivien M.L., Harmelin J.G., Chauvet C., Duval C., Galzin R., Lejeune P., Barnabé G., Blanc F., Chevalier R., Duclerc J. & Lasserre G. 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: méthode et problèmes. *Rev.Ecol. (Terre vie),* 40: 467-539.

Mecozzi M. & Lauricella Ninotta L. 1993. Monitor, un software per il confronto dei dati di monitoraggio ambientale. *Atti del 1° Simposio Nazionale sulle strategie e tecniche di monitoraggio dell'atmosfera.* Edito dalla Società Chimica Italiana: 692-698.

Polunin N.V.C. & Roberts C.M. 1993. Greater biomass and value of target coral-reef fishes in two small Caribbean marine reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 100 (1-2): 167-176.

Tortonese E. 1975. Osteichthyes (Pesci ossei). Parte Seconda. *Fauna d'Italia* 11: 1-636.

Tunesi L. & Vacchi M. 1993. Indagini visuali nell'area marina di Portofino: applicazione di un metodo per lo studio dei popolamenti ittici. *Biologia Marina, Suppl, al Notiziario S.I.B.M.,* 1: 355-360.

Vacchi M., Bussotti S., Gentile G. & Guidetti P. In stampa. Notes on the fish fauna of Gorgona Island (Ligurian Sea, North-Western Mediterranean). *Doriana.*

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L, 1997
Piccazzo M. (ed.): 499 - 510

IL PROGETTO SARAGO: ESPERIENZE OPERATIVE E NUOVE APPLICAZIONI NELLO STUDIO DELL'ECOLOGIA MARINA

Marco MARCELLl[1], Eugenio FRESl[2], Massimiliano CABURAZZl[2], Francesco MENCI[2], Laura AGUZZI[2]

[1]Ismes, S.p.A. - Bergamo
[2]Università di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Biologia, Laboratorio di Ecologia Sperimentale ed Acquacoltura

RIASSUNTO

Il SARAGO è un veicolo subacqueo ondulante che, trainato, è in grado di percorrere autonomamente differenti tipi di traiettorie tra la superficie e 300 m di profondità. Allo stato attuale il carico strumentale del SARAGO consente di misurare: CTD, pH, O_2, PAR, biomassa algale ed efficienza fotosintetica fitoplanctonica. Il principale obiettivo di questo sviluppo è di effettuare osservazioni quasi sinottiche di variabili ecologiche.

Il SARAGO, sviluppato nei laboratori Ismes, ha raggiunto la sua attuale configurazione dopo un lungo periodo di prove effettuate sotto il controllo dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". È stato quindi testato in tre campagne oceanografiche svoltesi nel Tirreno centrale, durante le quali è stata studiata la distribuzione del DCM (massimo subsuperficiale di clorofilla) in funzione di parametri fisico-chimici. Al termine di questa fase di sperimentazione, è stato integrato sul SARAGO un fluorimetro a doppio impulso, in grado di misurare l'efficienza fotosintetica e di fornire stime di produzione primaria in sito. Con questa nuova configurazione il SARAGO è stato testato con successo in Adriatico nel corso del progetto CNR - PRISMA 2, Sottoprogetto "Monitoraggio e Telerilevamento".

ABSTRACT

SARAGO is an underwater undulating towed fish, developed at the Ismes S.p.A. laboratories, able to work in the water column, along sinusoidal preprogrammed trajectories between O and 300 m depth. The trajectories can be changed on route and they are controlled using a GPS, a pressure transducer and an echosounder. The pay

load of SARAGO consists of: sensors for CTD, pH, O_2, irradiance (PAR), chl *a* and photosynthetic efficiency. The main aim of this tool is to provide almost synoptics *in situ* measurements of the above variables. SARAGO reaches its present confìguration after a testing period under University of Rome "Tor Vergata" control. It has been tested in field in the course of 3 oceanographic surveys in the Tyrrhenian Sea and, now, with a new instrumental configuration, in the CNR Prisma II project, on the Adriatic Sea, as a monitoring instrument for the recognition and the mapping of frontal systems.

1. INTRODUZIONE

La variabilità, l'abbondanza e la diversità delle popolazioni degli ecosistemi oceanici sono controllate dall'interazione di processi biologici, chimici e fisici (Rothschild, 1988).

Per comprendere questi processi si ha la necessità di poter comparare, nello stesso insieme spazio-temporale, i comparti biotico e abiotico, misurando sinotticamente le loro variabili descrittrici e, ove possibile, i descrittori dei processi in atto. Usualmente questi processi vengono modellizzati mediante algoritmi che considerano diverse variabili facilmente misurabili e calcolano variabili che sono più rappresentative del processo stesso, ad es. la produzione primaria. La funzionalità dei modelli dipende quindi, in larga misura, dalla disponibilità di variabili in ingresso che sono limitate da molti fattori quali le caratteristiche intrinseche della variabile che si intende misurare (ad es. la produzione primaria), oppure la loro variabilità spaziotemporale (ad es. la variazione della produzione primaria indotta da processi dinamici). In questo ultimo caso, dove risulta molto importante l'osservazione simultanea dei fenomeni fisico-chimici e biologici a meso e macro scala, la risposta tecnologica alle necessità di avere misure si è evoluta, principalmente, verso la messa a punto di strumenti e tecniche in grado di fornire dati misurati sinotticamente (Dickey, 1988; Williams, 1995).

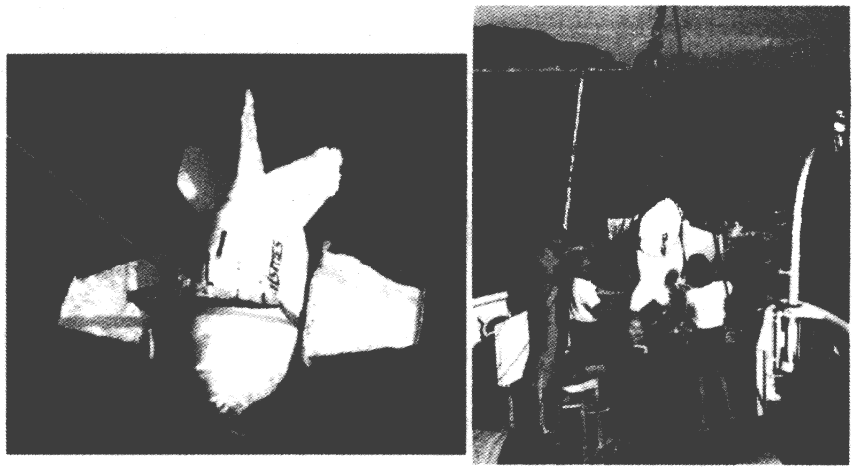


Fig. 1 - A sinistra, il SARAGO; a destra, operazione di messa a mare del SARAGO.

Particolare attenzione ha suscitato il problema delle misure delle variabili che consentono stime di produzione primaria e misure di biomassa, al fine ultimo di valutare, a scala globale, lo stato di salute (Williams, 1995) e delle risorse degli oceani (Lasker, 1988). Le tecnologie utilizzate a tale scopo sono principalmente il telerilevamento e i veicoli subacquei ondulanti trainati (underwater undulating towed vehicle). Il telerilevamento consente la sinotticità spaziale dell'osservazione (Lohrenz *et al.,* 1988; Woods, 1988), ma è caratterizzato implicitamente da una scarsa risoluzione spazio-temporale e dall'assenza della terza dimensione spaziale: la profondità (Strass & Woods, 1988).

I veicoli subacquei ondulanti trainati consentono una migliore risoluzione spaziale ed una sufficiente sinotticità dell'osservazione, riducendo grandemente, inoltre, rispetto all'oceanografia tradizionale, i tempi operativi in mare. Negli ultimi anni tale tecnologia è stata utilizzata con buoni risultati in oceano (Fasham *et al*., 1985; Strass & Woods, 1988, 1991 ; Strass, 1992).

Per questi motivi, presso i laboratori Ismes, è stato realizzato un primo prototipo (Bruzzi & Marcelli, 1990), quindi progettato (Marcelli & Mainardi, 1990) e realizzato ('91-'94) il veicolo ondulante subacqueo trainato denominato SARAGO (Fig. 1). Tale strumento è stato realizzato per essere applicato nella ricerca di base, nel monitoraggio ambientale e nella valutazione delle risorse biologiche.

Nel corso degli anni '94-'96 questo sistema è stato messo a punto e testato nell'ambito della convenzione tra Ismes e Università di Roma “Tor Vergata”, convenzione nata con il precipuo scopo dello sviluppo e messa a punto di nuove tecnologie dedicate alla ricerca ed al monitoraggio ambientale nel settore delle scienze marine.

2. CARATTERISTICHE E MODALITÀ OPERATIVE DEL VEICOLO

2.1. Architettura del sistema

Il SARAGO è costituito esternamente da uno scafo in vetroresina dotato di due ali mobili che possono essere inclinate da un apposito motore e, internamente, da uno scafo di pressione in acciaio che contiene a sua volta il motore delle ali, la strumentazione di controllo dell'assetto, una parte della strumentazione di misura e l'elettronica necessaria alla trasmissione dei valori misurati (Fig. 2).

Allo scafo di pressione sono collegate altre sonde di misura. Il collegamento alla nave è assicurato da un cavo elettromeccanico. La gestione del SARAGO viene effettuata mediante un apposito software che consente di visualizzare in tempo reale le variabili acquisite e di intervenire sull'assetto e regime di lavoro.

I dati vengono memorizzati automaticamente sul PC insieme alla posizione GPS della nave.

2.2. Carico strumentale

Il SARAGO può montare diversi tipi di sonde secondo le necessità della ricerca. Il carico strumentale ha subito una evoluzione nel corso degli ultimi anni. La configurazione iniziale era costituita dalla sensoristica di un CTD Idronaut 801 completa dei sensori di O_2, pH, Eh e da un fluorimetro Sea Tech FL0500 per la misura della chl *a.* Quest'ultimo, nell'estate del, 1996, è stato sostituito con un fluorimetro a doppio impulso, la sonda PrimProd 1.11, sviluppata dall'Istituto di Biofisica dell'Università di Mosca sulla base delle teorie di Falkowski *et al.* (1986). Questo fluorimetro, dotato anche di un sensore di PAR, consente una misura dell'efficienza fotosintetica (Fv/Fmax) e la possibilità di stimare la produzione primaria direttamente in sito.

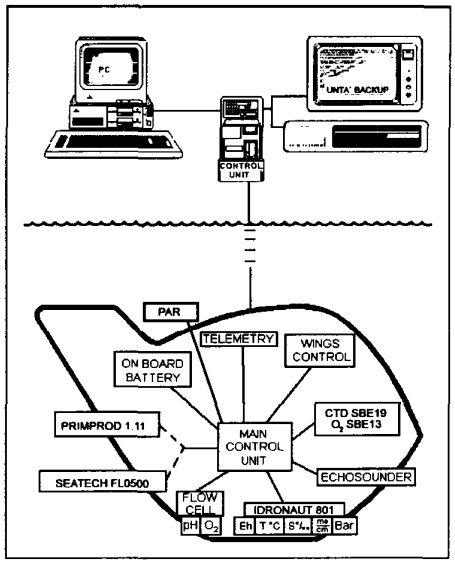


Fig. 2 - Architettura del SARAGO e disposizione della strumentazione.

Sempre nel 1996 è stata aggiunta una sonda CTD SBE 19 con sensore per l'O_2. Il flusso d'acqua sui sensori viene regolato da due pompe SBE.

Il controllo della navigazione e dell'assetto viene effettuato mediante un trasduttore di pressione (controllo rotta), due inclinometri (controllo rollio e beccheggio) ed un sonar (controllo distanza dal fondo ed allarme). Il movimento delle ali viene regolato e controllato mediante un potenziometro lineare.

2.3. Modalità operative

Il SARAGO può operare in tre modalità differenti: manuale, programmata, automatica. Nei primi due casi il SARAGO è collegato con la nave mediante un cavo elettromeccanico che consente la visualizzazione in tempo reale dei dati ed il controllo dell'assetto e della rotta del veicolo. I dati vengono archiviati automaticamente su PC. Nella modalità manuale le traiettorie del SARAGO sono controllate direttamente dall'operatore tramite la tastiera del computer. Nella modalità programmata il veicolo esegue il programma di lavoro impostato precedentemente. Il SARAGO infine può operare in modalità automatica: in questo caso viene preprogrammato, i dati vengono archiviati all'interno del veicolo stesso e può quindi essere collegato alla nave con un semplice cavo di traino.

Le traiettorie di navigazione del SARAGO che possono essere impostate sono: profondità costante; distanza dal fondo costante (attraverso il controllo del sonar); sinusoidale ad ampiezza fissa; sinusoidale ad ampiezza variabile; a “dente di squalo” (traiettorie con la massima frequenza nell'oscillazione tra due quote).

3. ESPERIENZE OPERATIVE

Nel corso degli anni 1994-96, il SARAGO è stato impiegato in una serie di campagne oceanografiche: “Caimano 1”, “Astraea ‘94”, “Astraea ‘95” nel Tirreno Centrale e nell'ambito del Progetto PRISMA 2 in Adriatico. Durante tali campagne sono state percorse in totale circa mille miglia nautiche in diverse condizioni di utilizzo. Questa sperimentazione ha consentito di testare le caratteristiche di navigazione del veicolo e di individuare e mettere a punto differenti protocolli operativi, di analisi e restituzione dell'informazione. In tali ambiti sono stati affrontati problemi inerenti la ricerca scientifica di base ed il monitoraggio. Nel corso della sperimentazione sono stati utilizzati diversi carichi strumentali e, inoltre, sono stati individuati alcuni ambiti di possibile futura applicazione, che comporteranno ulteriori sviluppi del SARAGO.

3.1. Caratteristiche di navigazione ed operatività

La massima profondità operativa alla quale è stato sperimentato il funzionamento del SARAGO è di 300 m. La massima variazione di ampiezza con traiettorie sinusoidali percorse esclusivamente con l'aiuto dei timoni, cioè senza l'ausilio di fairings per ridurre la resistenza del cavo in acqua, è stata di 100 m. La stabilità d'assetto, che rappresenta uno dei principali problemi che si possono incontrare su questo tipo di veicoli, è stata analizzata mediante i dati misurati dagli inclinometri. L'analisi spettrale di questi valori, effettuata mediante sviluppo in serie di Fourier, mostra che il SARAGO possiede una notevole stabilità, con oscillazioni dello scafo legate esclusivamente ai movimenti delle ali nelle fasi di inizio discesa e risalita.

Le differenti modalità operative sono state messe a punto e testate a seguito delle esperienze accumulate nel corso delle crociere sperimentali. Ciascuna presenta una sua peculiarità che la rende più idonea delle altre per una specifica applicazione.

Per gestire le traiettorie del veicolo con maggiore precisione, sono risultate più idonee le traiettorie sinusoidali. Queste consentono di lavorare in sicurezza anche su bassi fondali. Una particolare applicazione, la sinusoidale ad ampiezza variabile, è risultata particolarmente idonea quando si desidera seguire la variazione batimetrica.

La modalità a “dente di squalo” non consente di controllare efficientemente le traiettorie, ma rappresenta sicuramente la soluzione che fornisce le migliori prestazioni, sia per quanto attiene alla massima frequenza di oscillazione fra due quote, che per la massima escursione nell'unità di tempo.

3.2. Esempi di applicazioni del SARAGO

3.2.1. Ricerca di base: studio della distribuzione del DCM

Nel corso delle campagne oceanografiche di sperimentazione del SARAGO nel Tirreno Centrale è stata studiata la distribuzione del DCM (massimo subsuperficiale di clorofilla) nella colonna d'acqua in relazione ai principali parametri fisico-chimici. Il DCM è un fenomeno tipico degli ambienti pelagici oligotrofici durante la stagione estiva, dove la produzione è principalmente confinata agli strati profondi della zona

eufotica (Jamart *et al.,* 1977; Cullen, 1982; Estrada, 1985). Tale argomento risulta importante in quanto la conoscenza della distribuzione della biomassa algale, correlata a fenomeni dinamici, svolge un ruolo fondamentale nella modellizzazione della produzione primaria degli ecosistemi marini.
Le conoscenze dell'oceanografia biologica relative al Mare Tirreno, inoltre, sono carenti, soprattutto quelle che riguardano le relazioni tra parametri fisico-chimici e biologici (Carrada *et al.,* 1990). A titolo di esempio si riportano (Fig. 3) alcuni dati relativi alla campagna oceanografica "Astraea 2", durante la quale e' stata studiata la fascia di profondità compresa tra 25 e 115 metri con il SARAGO dotato di un CTD ed un fluorimetro.

La risoluzione spaziale dei dati è stata di circa 500 metri sull'orizzontale (metà della lunghezza d'onda della rotta sinusoidale compiuta dal SARAGO) e di circa 1 m sulla verticale. L'area di lavoro è stata quella del Tirreno Centrale, all'altezza del 41° parallelo in una stretta fascia fra l'Italia continentale (Gaeta) e la Sardegna settentrionale (Olbia). Durante i giorni 6-7 e 26-27 settembre 1995, il SARAGO è stato trainato in continuo dalla Nave Bannock (CP451). I transetti effettuati hanno una lunghezza di 108,5 e 133 miglia rispettivamente. Per ciascuno dei due transetti sono rappresentati i diagrammi spazio percorso/profondità delle variabili anomalia di densità (σ_t) e clorofilla *a.*

L'insieme dei dati, così raccolti, ha consentito di descrivere la distribuzione della biomassa algale e di poterne osservare la stretta relazione con le caratteristiche termoaline. E' stata così evidenziata, a nord-est della Sardegna, un'area di particolare interesse oceanografico, caratterizzata dalla risalita di acque profonde, dovuta alla presenza di un vortice ciclonico (Moen, 1984; Artale *et al,* 1994). Nel nostro studio, quest'area si caratterizza per la forma delle isoplete di tutti i parametri che presentano una convessità tra i 10° e gli 11° di longitudine.

In corrispondenza delle convessità delle isopicne si osservano i valori di clorofilla più elevati, con presenza di "patches" che raggiungono concentrazioni piuttosto elevate per il Tirreno (1 µg/l).

Dal confronto fra le rappresentazioni sinottiche dei due transetti, percorsi con circa tre settimane di intervallo, si può osservare una attenuazione del fenomeno in atto. Questo è testimoniato, oltre che dall'approfondimento delle isopicne, anche dalla diminuzione di concentrazione e dallo sprofondamento e/o scomparsa delle "patches" di clorofilla *a.*

3.2.2. Supporto alla ricerca: individuazione e mappatura di sistemi frontali

Il SARAGO ha operato recentemente in alcune campagne oceanografiche condotte in Adriatico (nell'ambito del Progetto PRISMA 2, Sottoprogetto "Monitoraggio e Telerilevamento") con un duplice scopo: individuare e monitorare zone frontali in Alto e Medio Adriatico, e realizzare un sistema innovativo di "verità mare" per il telerilevamento, con la possibilità di fornire una stima diretta della produzione primaria in sito. Per fare ciò, il veicolo è stato modificato per supportare il nuovo fluorimetro a

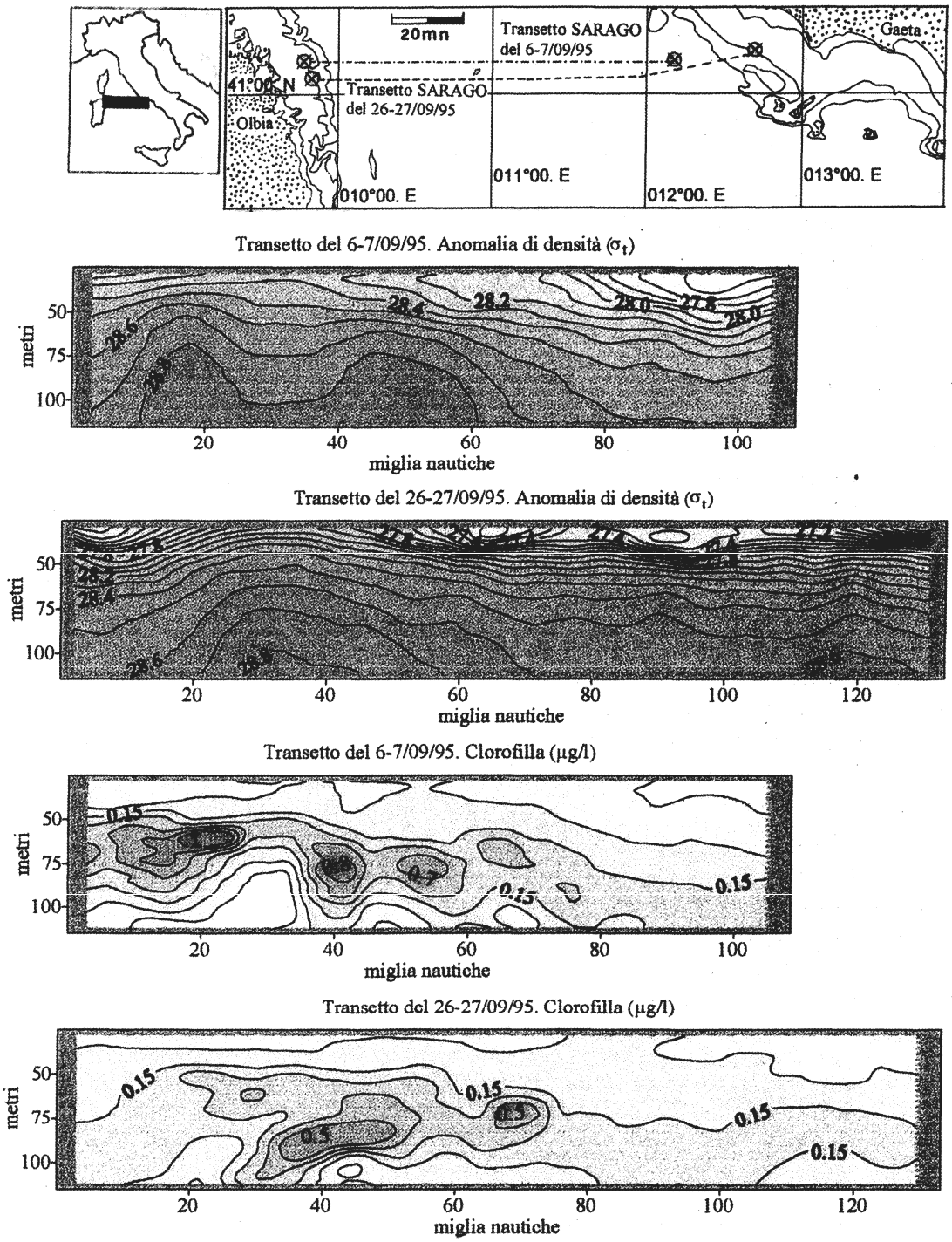


Fig. 3 - Diagrammi spazio percorso - profondita` della distribuzione dei valori di σ_t e clorofilla *a* ottenuti interpolando, mediante kriging, i dati del SARAGO lungo i transetti del 6-7/09/95 e del 26-27/09/95 nel Tirreno Centrale, tra Olbia e Gaeta (mappa in alto).

doppio impulso (PrimProd 1.11) che consente di misurare, oltre la biomassa fitoplanctonica, l'efficienza fotosintetica secondo il principio del *"pump and probe"* (Falkowski *et al.,* 1986; Kiefer & Reynolds, 1991), attraverso la quale si possono fare stime di produzione primaria in sito.

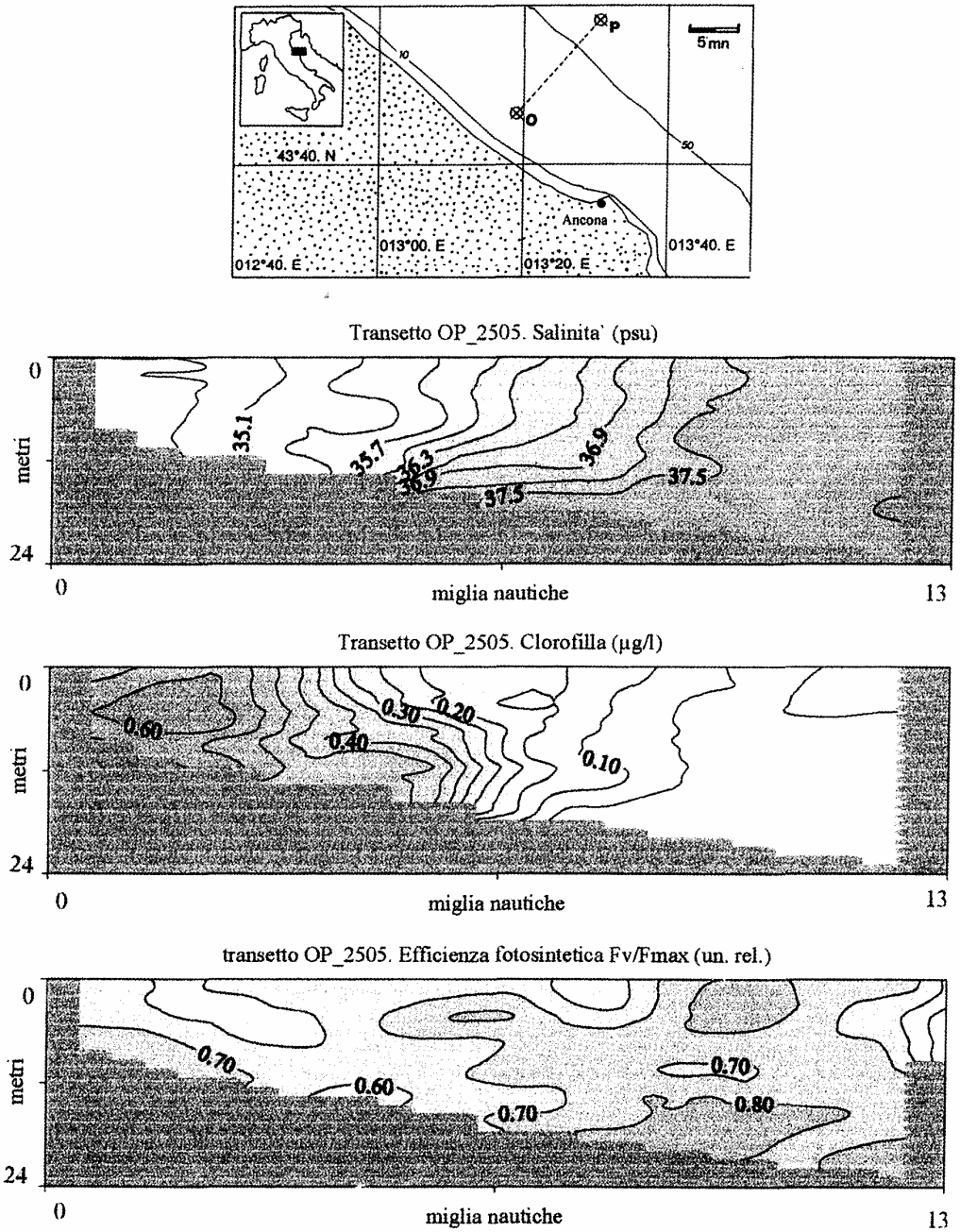


Fig. 4 - Diagrammi spazio percorso - profondita` della distribuzione dei valori di salinita`, clorofilla *a* ed efficienza fotosintetica ottenuti interpolando, mediante un interpolatore statistico lineare sviluppato *ad hoc*, i dati relativi al transetto OP del 25/05/96 in Adriatico Centrale (mappa in alto).

L'obiettivo principale del Progetto è la calibrazione degli algoritmi di calcolo della biomassa algale, della efficienza fotosintetica e della produzione primaria. I valori assoluti validati saranno disponibili al termine delle attività. L'obiettivo di individuare e mappare le aree frontali caratterizzate dal forte gradiente di salinità, clorofilla e produzione primaria è stato comunque raggiunto e, a bordo nave, sono state elaborate in tempo quasi reale, "mappe" del sistema frontale quali quelle rappresentate in figura (Fig. 4).

Anche se da valori non calibrati, si osserva che le variazioni di biomassa non coincidono con quelle di efficienza fotosintetica, testimoniando una maggiore attività dei processi produttivi nelle aree esterne alle influenze degli apporti fluviali.

3.2.3. Monitoraggio

Il SARAGO è stato anche utilizzato, sempre con la medesima configurazione (CTD e fluorimetro), come strumento di monitoraggio nell'analisi dell'impatto delle plumes fluviali (Tevere ed Ombrone) sulle acque costiere. Il SARAGO è stato trainato su traiettorie orizzontali lungo rotte variabili nelle aree interessate dalle plumes. A titolo di esempio sono riportate rappresentazioni della distribuzione della salinità e della clorofilla nella zona di mare antistante la foce dell'Ombrane (Fig. 5) che evidenziano chiaramente l'influenza delle acque fluviali sia per la bassa salinità che per una maggiore concentrazione della clorofilla sospesa.

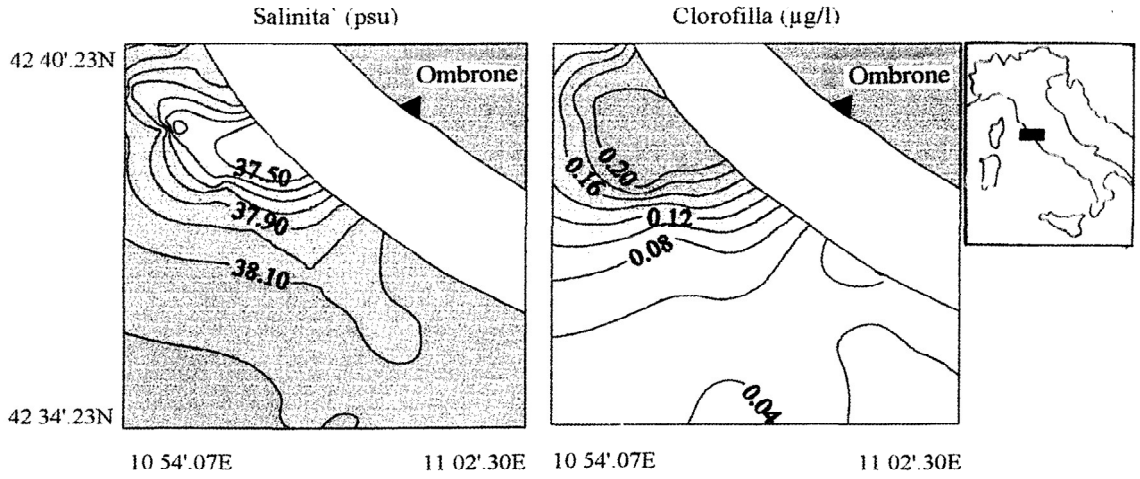


Fig. 5 - Valori superficiali di salinità e clorofilla *a* ottenuti interpolando, mediante tecniche di gridding, i dati misurati nella zona antistante la foce del fiume Ombrone, nel Tirreno Settentrionale (l'area bianca all'interno dei diagrammi è relativa al tratto di mare non monitorato dal SARAGO).

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le lunghe prove di operatività in mare ci consentono di affermare che il SARAGO è uno strumento affidabile e rispondente ai requisiti di progetto.

Le esperienze effettuate hanno suggerito quindi una serie di migliorie da apportare che si risolvono in modifiche dei profili idrodinamici dello scafo, delle ali e del cavo per migliorare la penetrazione idrodinamica e la portanza, ed in una modifica della modalità di trasmissione (maggiore frequenza) ed acquisizione dell'informazione al fine di poter gestire un ulteriore carico strumentale. In particolare sono già stati progettati differenti tipi di ali intercambiabili e un verricello veloce in grado di gestire dinamicamente il cavo, in modo da ottenere le massime performances alle differenti velocità.

Dal punto di vista metodologico, in base all'esperienza operativa di questi anni, si può affermare che il SARAGO è uno strumento che può trovare applicazione con interessanti risultati sia ai fini della ricerca pura, con particolare riferimento all'ecologia marina, sia a fini applicativi, come ad esempio il monitoraggio.

Il sistema, rispetto alle metodologie di analisi tradizionali, presenta infatti i vantaggi tipici dei veicoli ondulanti trainati che sono legati prevalentemente alla rapidità di rilevamento delle variabili descrittrici dell'ambiente marino ed alla capacità di adattare il metodo alle differenti scale spazio-temporali dei fenomeni che si desidera osservare.

Questo è particolarmente evidente nel caso della sperimentazione effettuata che ha dimostrato, inoltre, come il SARAGO possa rappresentare realmente uno strumento di verità mare del telerilevamento satellitare.

Mentre le caratteristiche tecniche del SARAGO sono confrontabili con quelle degli altri *"tow-fish"* sviluppati sino ad oggi (Herman & Dauphinee, 1980; Aiken, 1981; CI, 1996), la peculiarità è da ricercarsi nell'idrodinamica, che conferisce una notevole stabilità nelle traiettorie, nel carico strumentale innovativo che, integrando il fluorimetro a doppio impulso PrimProd, assicura nuove possibilità nella ricerca per quanto attiene allo studio della produzione primaria, e nella potenzialità di espansione del sistema che prospetta nuovi sviluppi nello studio degli ecosistemi marini.

Il principale di questi sviluppi è legato all'installazione sul SARAGO di un sonar digitale per il rilevamento della biomassa animale. Mediante l'utilizzo di questo nuovo trasduttore, la cui installazione è attualmente in fase di sperimentazione, si potrà efficacemente ottenere stime di biomassa zooplanctonica o nectonica nella colonna d'acqua.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la cortese collaborazione ed i preziosi suggerimenti Maurizio Ribera d'Alcalà e Michele Scardi della Stazione Zoologica di Napoli, Antonio Raimondi, Corrado Gaspani ed Umberto Mainardi dell'Ismes.

BIBLIOGRAFIA

Aiken J. 1981. The Undulating Oceanographic Recorder Mark 2. *J. Plankton Res.,* 3: 551-560.

Artale V., Astraldi M., Buffoni G. & Gasparini G.P. 1994. Seasonal variability of gyre-scale circulation in the northern Tyrrhenian Sea. *J. Geophys. Res.,* 99(C7): 14,127-14,137.

Brazzi D. & Marcelli M. 1990. Sviluppo di una metodologia strumentale automatica per il monitoraggio dei fondali marini. *Atti del VI Colloquio AIOM "Le grandi strutture di ingegneria marina, loro interazione con l'ambiente", Cagliari 25-26 Ottobre 1990:* 79-84.

Carrada G.C., Ribera-D'Alcalà M., &. Saggiomo V. 1990. The pelagic System of the southern Tyrrhenian Sea. Some comments and working hypotheses. *Atti del IX Congresso AIOL:* 151-156.

C.I. 1996. Sea Soar MarkII. *Chelsea Imtrument Product Bulletin, Issue 3, PB009, 1-12, June 1996.*

Cullen J.J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll *a. Can. J. Fish. aquat. Sci.,* 39: 791-803.

Dichey T.D. 1988. Recent advances and future directions in multi-disciplinary *in situ* oceanographic measurements systems. In: Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean (Rothschild B.J. ed.). Kluwer Academic Publishers, NATO ASI Series: 555-599.

Estrada M. 1985. Deep phytoplankton and chlorophyll maxima in the Western Mediterranean. In: Mediterranean Marine Ecosystems (Moriartou-Apostolopoulou M. & Kiortsis V. eds.). Plenum Press New York and London, NATO Conference Series: 247-279.

Falkowski P.G., Wyman K., Ley A.C. & Mauzerall D.C. 1986. Relationship of steady state photosynthesis to fluorescence in eucaryotic algae. *Biochim. Biophys. Acta,* 849: 183.

Fasham M.J.R., Platt T., Irvvin B. & Jones K.. 1985. Factors affecting the spatial pattern of the deep chlorophyll maximum in the region of the Azores Front. *Prog. Oceanog.,* 14: 129-165.

Herman A.W. & Dauphinee T.M. 1980. Continuous and rapid profiling of z.ooplankton with an electronic counter mounted on a “Bathfish vehicle”. *Deep Sea Res.,* 27(1 A): 79-96.

Jamart B.M., Winter D.F., Banse K., Anderson G.C. & Lam R.K. 1977. A theoretical study of phytoplankton growth and nutrient distribution in the Pacific Ocean off the northwestern U.S. coast. *Deep-Sea Res.,* 24: 753-773.

Kiefer D.A. & Reynolds R.A. 1991. Advances in understanding phytoplankton fluorescence and photosynthesis. In: Prymary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea (Falkowski P.G. & Woodhead A.D. eds.). Environmental Science Research. Plenum Press, Volume 43: 155-174.

Lasker R. 1988. Food chains and fisheries: an assessment after 20 years. In: Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean (Rothschild B.J. ed.). Kluwer Academic Publishers, NATO ASI Series: 173-183.

Lohrenz S.E., Arnone R.A., Wiesenburg D.A. & DePalma I.P. 1988. Satellite detection of transient enhanced primary production in the western Mediterranean Sea. *Nature,* 335: 245-247.

Marcelli M. & Mainardi U. 1990. Sistema strumentale automatico per il rilievo della presenza di mucillagini e delle condizioni chimico-fisiche in prossimità del fondale. *Ismes, Prog. ASP 5000, Doc. RTF-DTA-1521:* 288 pp.

Moen J. 1984. Variability and mixing of the surface layer in the Tyrrhenian Sea: MILEX-80, final report, SACLANTCEN Rep. SR-75, SACLANT Res. Cent., La Spezia, Italy, 128 pp.

Rothschild B.J. 1988. Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean (Rothschild B.J. ed.). Kluwer Academic Publishers, NATO ASI Series: 1-7.

Strass V.H. 1992. Chlorophyll patchiness caused by mesoscale upwelling at fronts. *Deep-Sea Res.,* 39(1): 75-96.

Strass V.H. & Woods J.D. 1988. Horizontal and seasonal variation of density and chlorophyll profiles between Azores and Greenland. In: Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean (Rothschild B.J. ed.). Kluwer Academic Publishers, NATO ASI Series: 113-137.

Strass V.H. & Woods J.D. 1991. New production in the summer revealed by the meridonal slope of the deep chlorophyll maximum. *Deep-Sea Res.,* 38(1): 35-56.

Williams R. 1995. Evaluation of new techniques for monitoring and assessing the health of large marine ecosystems. In: Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems (Rapport D.J., Gaudet C.L. & Calow P. eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, NATO ASI Series, 128: 257-272.

Woods J.D. 1988. Scale upwelling and primary productions. In: Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean (Rothschild B.J. ed.). Kluwer Academic Publishers, NATO ASI Series: 7-39.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol. I - Genova: A.I.O.L., 1997
Piccazzo M. (ed.): 511 - 522

EVOLUZIONE DELLE SPIAGGE ALBISOLESI IN RELAZIONE AGLI EVENTI ALLUVIONALI DEL TORRENTE SANSOBBIA (LIGURIA OCCIDENTALE)

Marco FIRPO[1], Mauro PICCAZZO[1], Flavio POGGI[1], Paolo SBARDELLA[2]

[1] Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Genova
[2] DATASIEL S.p.A., Settore Ambiente, Genova

RIASSUNTO

Durante il periodo 1990-1996 si sono verificate piene particolarmente abbondanti del Torrente Sansobbia, principale corso d'acqua presente nel tratto di costa fra Savona e Capo Torre. A seguito di questi eventi si è potuto verificare come il materiale trasportato dal torrente si sia depositato inizialmente lungo l'alveo e nelle immediate vicinanze della foce e solo in un secondo tempo, in conseguenza di eventi di minore intensità, sia stato rimobilizzato e ridistribuito. Lo studio delle variazioni della linea di riva ed il confronto di rilievi batimetrici di dettaglio hanno consentito di evidenziare come tali eventi impulsivi siano alla base del ripascimento delle spiagge albisolesi, in particolare nella zona ad ovest della foce. Per quanto riguarda la spiaggia sottomarina la complessa dinamica delle correnti litoranee permette di ipotizzare che esistano *rip currents,* che sottraggono gran parte del materiale al bilancio sedimentario generale.

ABSTRACT

Albisola's beach modifications from 1990 up to 1996 have been studied recently through some detailed bathimetric surveys. The Sansobbia torrent, the most important stream in the analyzed area, during this period has been affected by some intense floods, as a consequence of heavy rainfalls. A study of these events, has clarified that the huge amount of sediments carried by the river during the floods deposits first along the riverbed, and then on the sea bottom dose to the river mouth. Only afterwards, in consequence of less intense rainfalls, does it get moved and distributed again. Shoreline modifications and the comparison between bathimetric charts, referring to 1990, 1992 and 1995's situation, show that these events are the main cause for backshore progradation, especially west of the river mouth. Frequent and violent storms generate intense littoral currents characterized by complex dynamics and are strongly influenced by the interference with anthropogenetic structures (Savona harbour, jetties and so on), which prevent shoreface natural nourishment. Moreover, the existence of rip currents which subtract large amounts of materials to the global sediment balance can reasonably be hypothesized.

1. PREMESSA

Le spiagge comprese fra il porto di Savona e la costa rocciosa di Capo Torre sono ormai da oltre un decennio oggetto di un costante monitoraggio (Piccazzo *et al.*, 1992a e

1992b) anche attraverso numerose campagne di rilevamento che hanno consentito l'acquisizione di dati batimetrici e di campioni di fondo.

Gli eccezionali eventi di piena del Torrente Sansobbia verificatisi durante gli ultimi cinque anni (Settembre 1992, Novembre 1994, Settembre ed Ottobre 1995) hanno influenzato sia la morfologia della spiaggia sia quella dell'alveo del torrente, per cui particolare attenzione è stata rivolta allo studio del suo bacino idrografico.

Il litorale albisolese è interessato da un settore di traversia compreso fra 80° e 205°, suddiviso in settori parziali tra i quali i più importanti sono quelli fra 185° e 205° *(fetch* 900 km a 195°) e fra 133° e 152° *(fetch* 740 km a 135°). I dati anemometrici, raccolti a Savona presso l'Istituto Nautico, evidenziano come i venti più frequenti siano quelli provenienti dal quadrante di SE, cioè di scirocco, e, subordinatamente, quelli di libeccio, provenienti dal quadrante di SW. T primi risultano più frequenti, i secondi spesso sono più intensi e formano treni d'onda incidenti a basso angolo sulla costa che influenzano sensibilmente il drift litoraneo; i treni d'onda generati dai venti di scirocco, al contrario, hanno direzione subortogonale alla linea di riva e pertanto la loro influenza sul trasporto risulta meno marcata. In questo quadro rilevante importanza rivestono le infrastrutture aggettanti e, in particolare, il porto di Savona il cui molo frangiflutti, prolungato verso E nel 1988, costituisce un riparo dall'ondazione da libeccio per il settore di costa a ponente della foce del Torrente Sansobbia (Fig. 1).

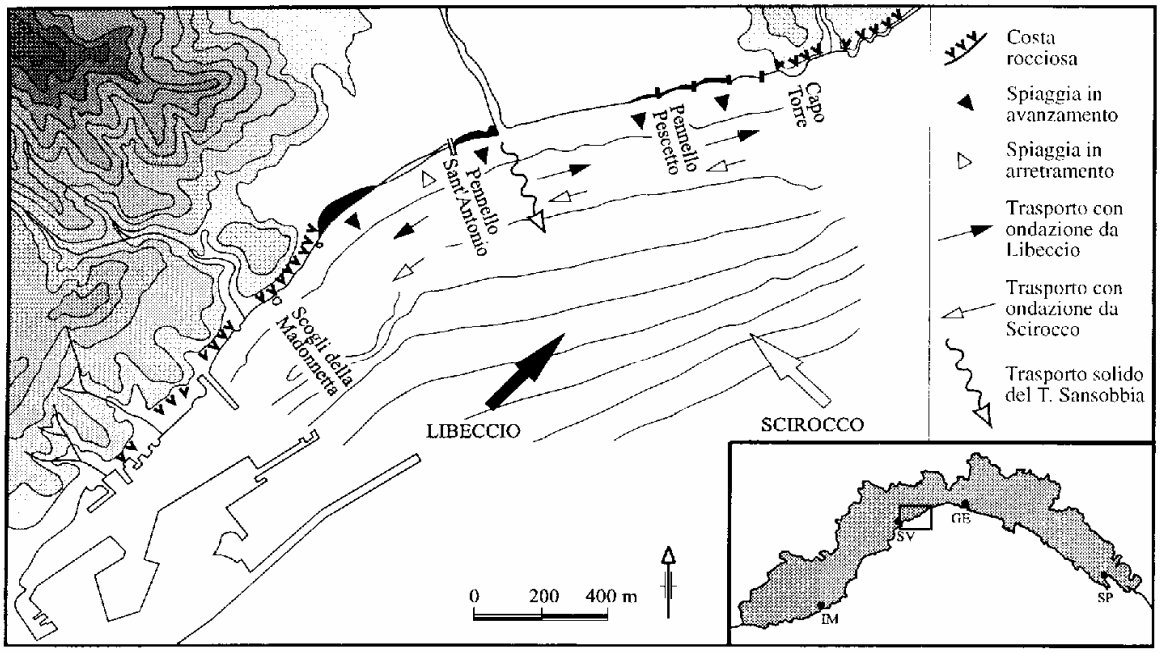


Fig. 1 - Inquadramento geografico e meteomarino dell'area studiata e tendenza evolutiva del litorale.

Il risultato dell'interazione fra i fattori finora citati è un trasporto litoraneo medio diretto da W verso E in tutto il paraggio, fatta eccezione per un breve tratto, compreso fra la foce del torrente e lo Scoglio della Madonnetta, dove si osserva una locale inversione che ha provocato un generale avanzamento della linea di riva (Piccazzo *et al.,* 1992a e 1992b).

2. IL BACINO DEL TORRENTE SANSOBBIA

La principale fonte di approvvigionamento per le spiagge del settore è il Torrente Sansobbia il cui bacino idrografico ha un'estensione di circa 72 km^2 (Fig. 2). L'asta fluviale principale, lunga circa 22 km, si origina sul versante occidentale del Monte Beigua, che, con i suoi 1286 m di quota, costituisce la vetta più elevata dello spartiacque.

Il corso del torrente risulta, da una prima osservazione, estremamente irregolare, presentando numerosi repentini cambi di direzione che possono essere giustificati prendendo in considerazione la natura litologica del substrato e, soprattutto, la tettonica che lo ha interessato.

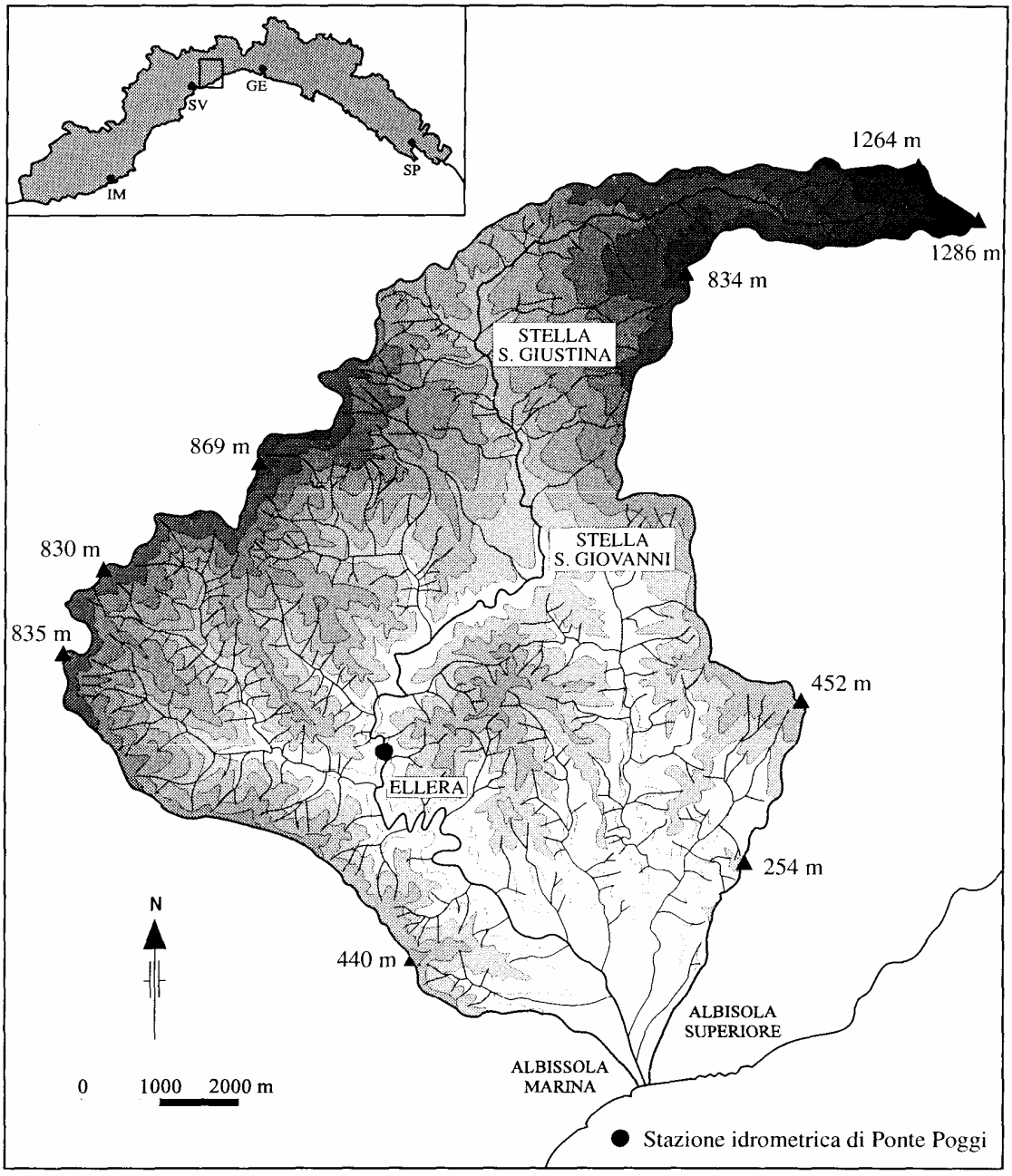


Fig. 2 - Il bacino idrografico del Torrente Sansobbia. L'equidistanza tra le isoipse è di 100 metri.

L'asta principale presenta due tratti a direzione NW-SE, pressappoco ortogonali alla linea di riva, dalla foce ad Ellera e da Stella S. Giovanni a Stella S. Giustina, mentre il tratto intermedio e quello più a monte sono orientati NE-SW, approssimativamente paralleli alla costa; tale andamento è dovuto a motivi strutturali che hanno provocato almeno due fenomeni di cattura già noti da tempo in letteratura (Rovereto, 1904; Conti, 1942).

I dati idrometrici del Torrente Sansobbia sono stati rilevati in continuo dal 1938 al 1970 alla stazione di Ponte Poggi, sita nei pressi dell'abitato di Ellera: mancano, pertanto, i valori relativi agli ultimi decenni e, soprattutto, ai recenti eventi di piena. Tuttavia il dato relativo all'alluvione del 1992 è stato estrapolato sulla base di un'osservazione occasionale eseguita sull'astina della stazione idrometrica (Fig. 3).

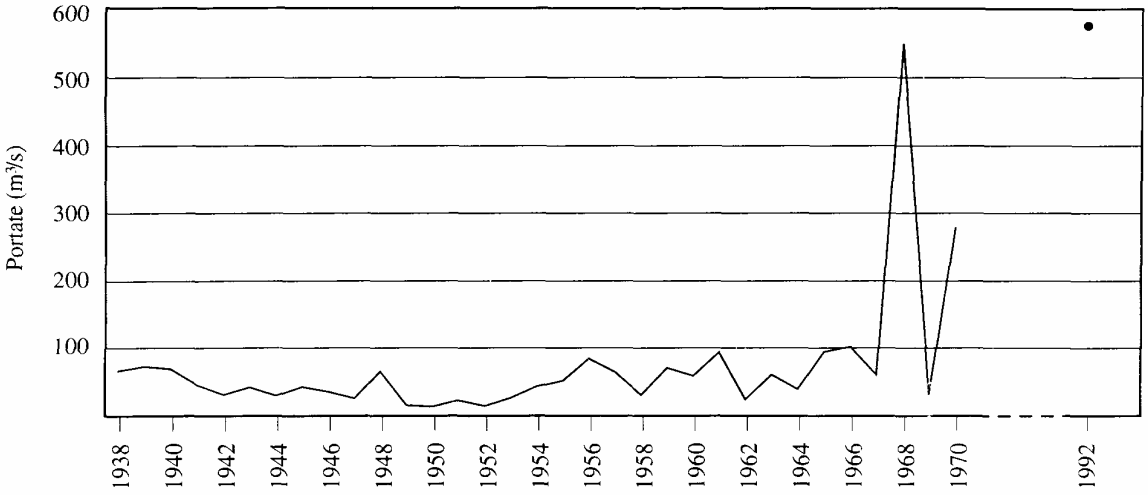


Fig. 3 - Portate massime annuali al colmo di piena misurate alla stazione idrometrica di Ponte Poggi.

Dall'analisi dei dati esposti emerge come il disastroso evento verificatosi nel Settembre 1992 abbia avuto un'entità confrontabile a quello, altrettanto calamitoso, del 1968; entrambi, inoltre, sono stati caratterizzati alla foce da portate al colmo di piena prossime a quelle calcolate per un tempo di ritorno secolare.

Le modificazioni dell'alveo sono state esaminate con l'ausilio di due successive levate topografiche effettuate nel 1993 e nel 1994 dalla foce ad Ellera (Figg. 4 e 5) su incarico del Comune di Albisola Superiore (Burlando *et al.,* 1996): il loro confronto evidenzia un generale forte sovralluvionamento imputabile sia ad un evento di piena avvenuto nel corso del 1994 sia alla rimobilizzazione di quanto depositato a monte in seguito alla piena del 1992. In particolare è possibile osservare come, in un lungo tratto a monte della confluenza con il Rio Basco, il letto si sia sopraelevato di oltre un metro (Fig. 4) mentre valori di sovralluvionamento superiori al mezzo metro sono frequenti nel tratto più prossimo alla foce (Fig. 5).

3. LA SPIAGGIA SOTTOMARINA

La spiaggia sottomarina è caratterizzata da pendenze molto limitate e abbastanza uniformi; in particolare la fascia prossima alla riva presenta acclività comprese fra l' 1 e il 2,5%, mentre i valori aumentano leggermente nella zona distale, dove oscillano fra il 2,5

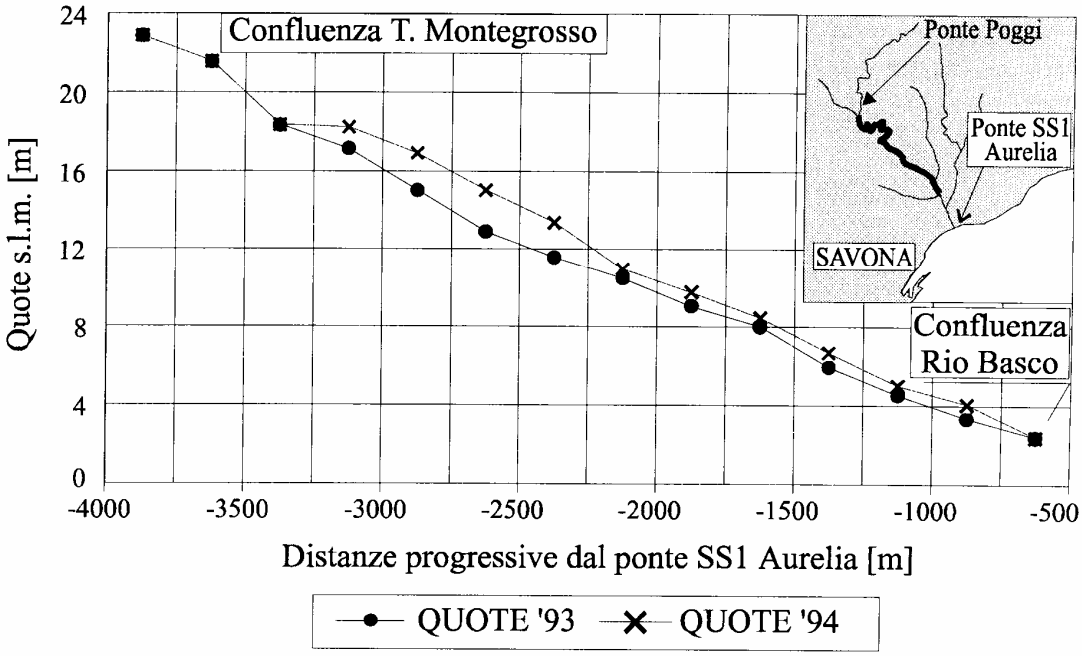


Fig. 4 - Profili longitudinali dell'alveo del Torrente Sansobbia relativi agli anni 1993 e 1994 dalla confluenza con il Torrente Riobasco alla stazione idrometrica di Ponte Poggi, presso l'abitato di Ellera (Burlando *et al.*, 1996, modificato).

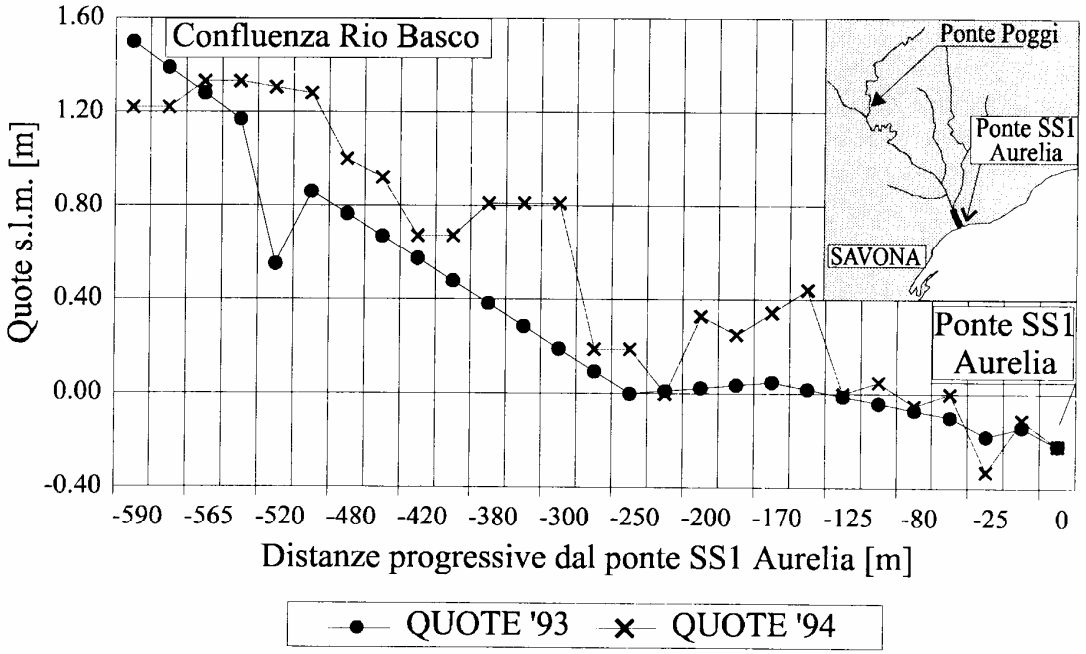


Fig. 5 - Profili longitudinali dell'alveo del Torrente Sansobbia relativi agli anni 1993 e 1994 dal ponte della SS1 Aurelia, presso la foce, alla confluenza con il Torrente Riobasco (Burlando *et al.*, 1996, modificato).

e il 5% (Fig. 6), con l'eccezione di due aree poste rispettivamente in posizione antistante all'imboccatura del porto e frontalmente alla costa rocciosa di Capo Torre: in questi settori si sono riscontrate localmente pendenze anche superiori al 10% prossime a zone quasi pianeggianti. Mentre per l'area prospiciente al porto tale anomalia può essere facilmente attribuita ai dragaggi eseguiti al fine di contrastarne l'interramento, l'origine della forte acclività nell'area orientale potrebbe essere collegata alla struttura del substrato roccioso.

Le modificazioni della spiaggia sottomarina evidenziate dal confronto dei rilievi batimetrici del 1990 e 1995 (Fig. 7) permettono di distinguere:

- aree in prevalente accumulo; sono presenti soprattutto nel settore occidentale a causa della protezione esercitata nei confronti del moto ondoso dalla diga foranea del porto: in generale i valori maggiori si riscontrano nelle aree vicine a costa dove localmente superano i 50 cm. Nella zona prospiciente alla foce del Torrente Sansobbia è presente un accumulo originato dagli eventi alluvionali;
- aree in prevalente erosione; sono concentrate nel settore orientale e, anche in questo caso, i valori più elevati, talora superiori al mezzo metro, sono stati riscontrati nella fascia costiera.

Complessivamente, stime di massima hanno evidenziato un netto deficit sedimentario nella spiaggia sottomarina: i volumi mancanti vengono probabilmente trasferiti al largo da *rip currents* localizzabili nel settore orientale, dove più estese sono le aree in erosione.

Allo scopo di analizzare con maggiore dettaglio le variazioni verificatesi nelle immediate vicinanze della foce, sono stati presi in esame tre rilievi batimetrici di dettaglio, eseguiti nel 1989, 1992 e 1995. Osservando e comparando le carte ottenute (Fig. 8) si può notare come, a seguito degli eventi alluvionali più recenti, siano intervenute notevoli variazioni tanto nella spiaggia emersa quanto in quella sottomarina. Innanzitutto si evidenzia un notevole avanzamento della linea di riva, tanto ad E quanto ad W della foce, avvenuto prevalentemente fra il 1989 ed il 1992, da imputarsi in larga misura all'alluvione del 1992: il materiale trasportato alla foce è stato in parte ridistribuito sulla spiaggia emersa e in parte è andato a costituire un accumulo sulla spiaggia sottomarina. L'evento alluvionale del 1992 ha causato anche la scomparsa della barra di foce che, precedentemente, ostruiva quasi completamente lo sbocco a mare del torrente; la barra appare poi completamente riformata nel 1995, seppur in posizione decisamente più avanzata.

Nella carta riferita al rilievo più recente si può ancora osservare l'accumulo originatesi nel 1992 sulla spiaggia sottomarina, anche se la sua morfologia risulta intensamente modificata. Il rapido riformarsi della barra di foce, anche in presenza di eventi di piena piuttosto ravvicinati nel tempo, ed il modellamento dell'accumulo subacqueo testimoniano l'intensa azione di ridistribuzione dei sedimenti da parte delle mareggiate e la direzione di trasporto litoraneo verso ponente, prevalente in questo settore. La persistenza di questo accumulo fra il 1992 ed il 1995, nonostante l'energica azione di ridistribuzione del moto ondoso, è imputabile ad una continua alimentazione da parte del torrente, ricollegabile alle già citate piene ripetutesi negli ultimi anni.

Attraverso l'analisi dei dati tessiturali relativi al 1990 e al 1995 sono state ricostruite, utilizzando la classificazione di Nota (1958), le carte della distribuzione dei sedimenti (Figg. 9 e 10) da cui emerge una netta prevalenza di sabbie e sabbie limose. Il confronto fra i due anni evidenzia un netto decremento dell'areale interessato dalle sabbie limose e, in generale, dalle frazioni più grossolane, che nel 1995 sono state rinvenute esclusivamente in zone molto localizzate e ristrette mentre nel 1990 risultavano più estesamente rappresentate, soprattutto nel settore più occidentale. In sintesi nel 1995 si riscontra una maggiore omogeneità tessiturale rispetto al 1990 e si conferma, dalla conformazione dell'areale relativo alla distribuzione asimmetrica verso W della sabbia, la direzione prevalente di trasporto lungo costa.

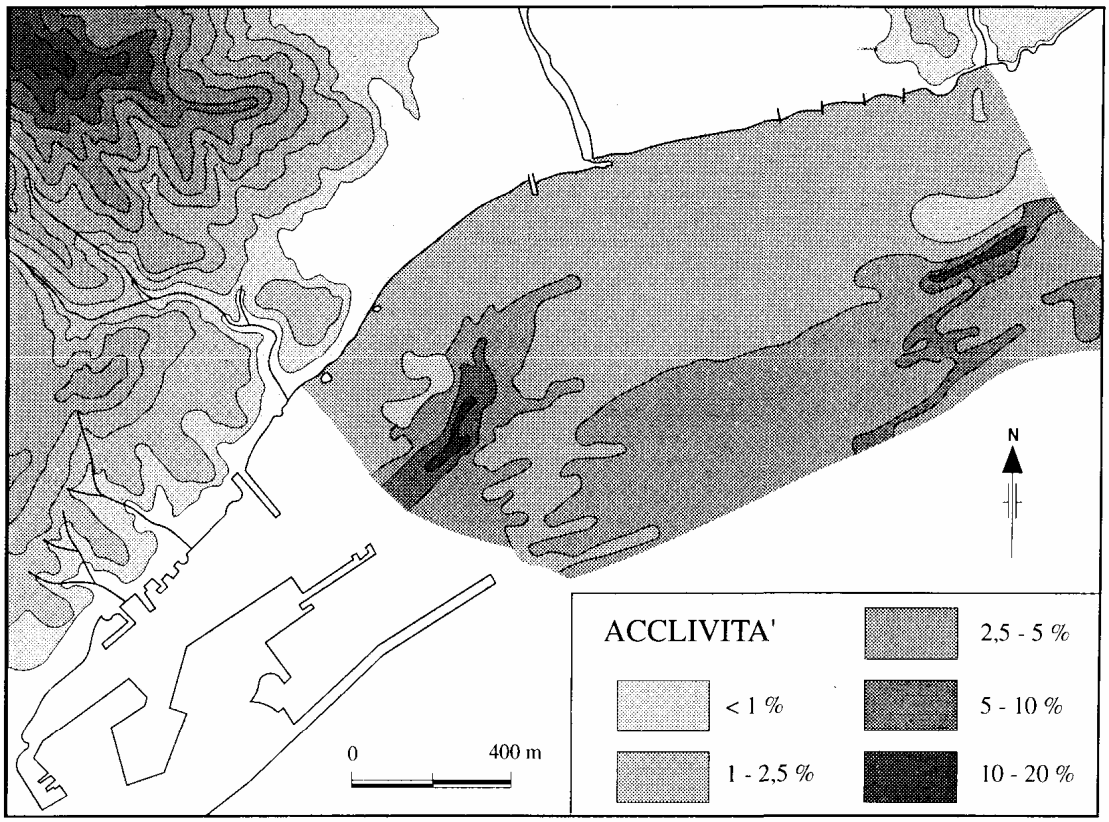


Fig. 6 - Carta dell'acclività della spiaggia sottomarina.

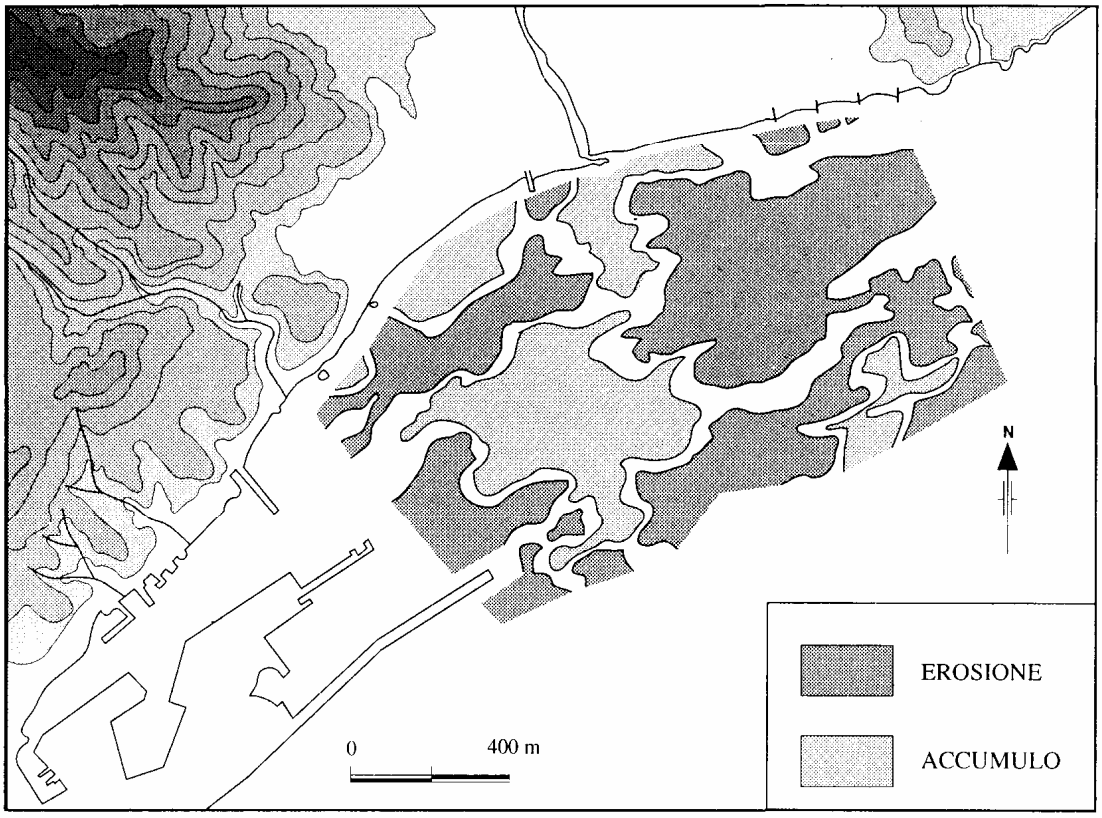


Fig. 7 - Variazioni del fondale nel periodo 1990 - 1995.

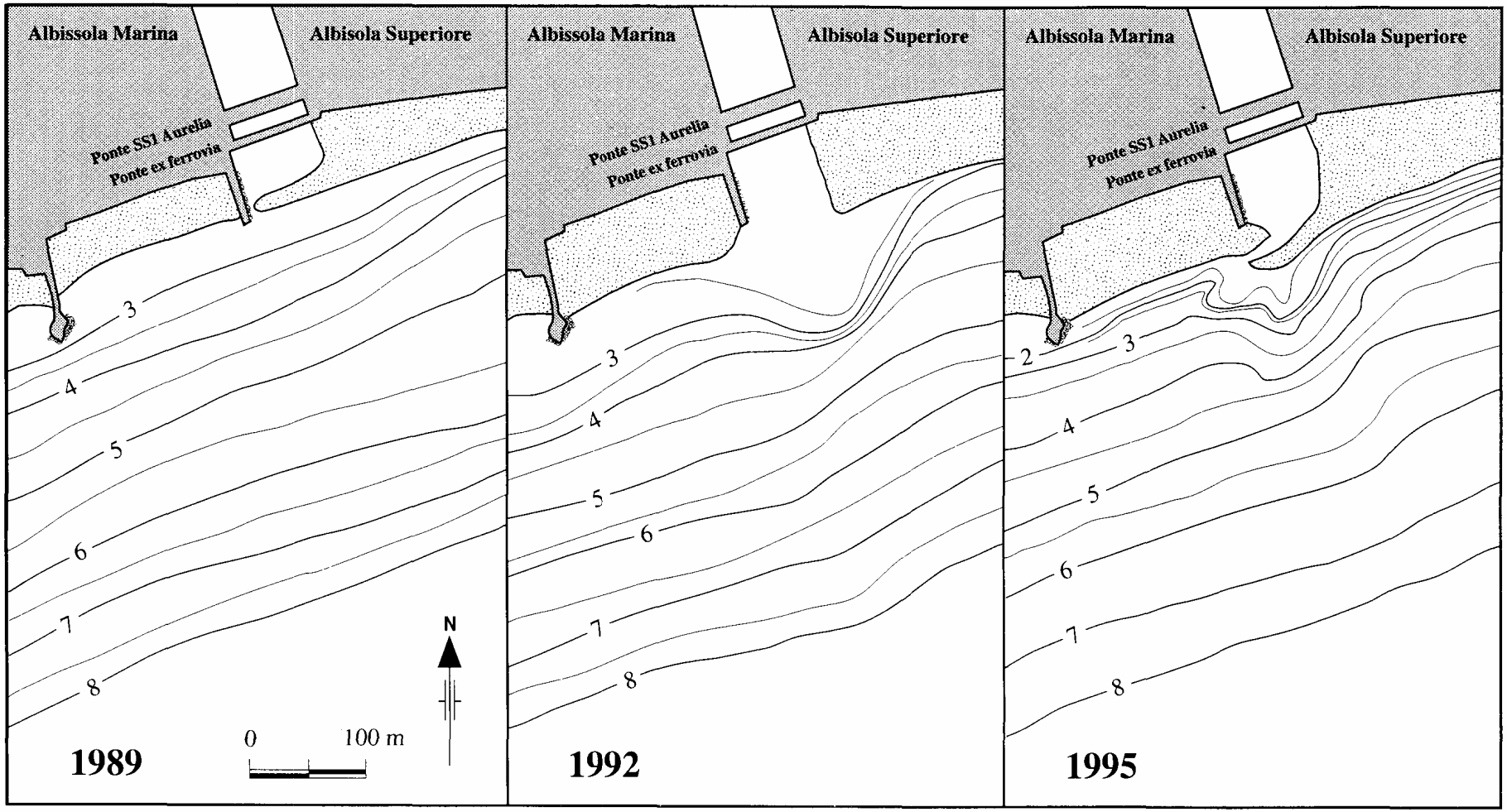


Fig. 8 - Variazioni morfologiche e batimetricre della linea di costa e del fondale in prossimità della foce del Torrente Sansobbia.

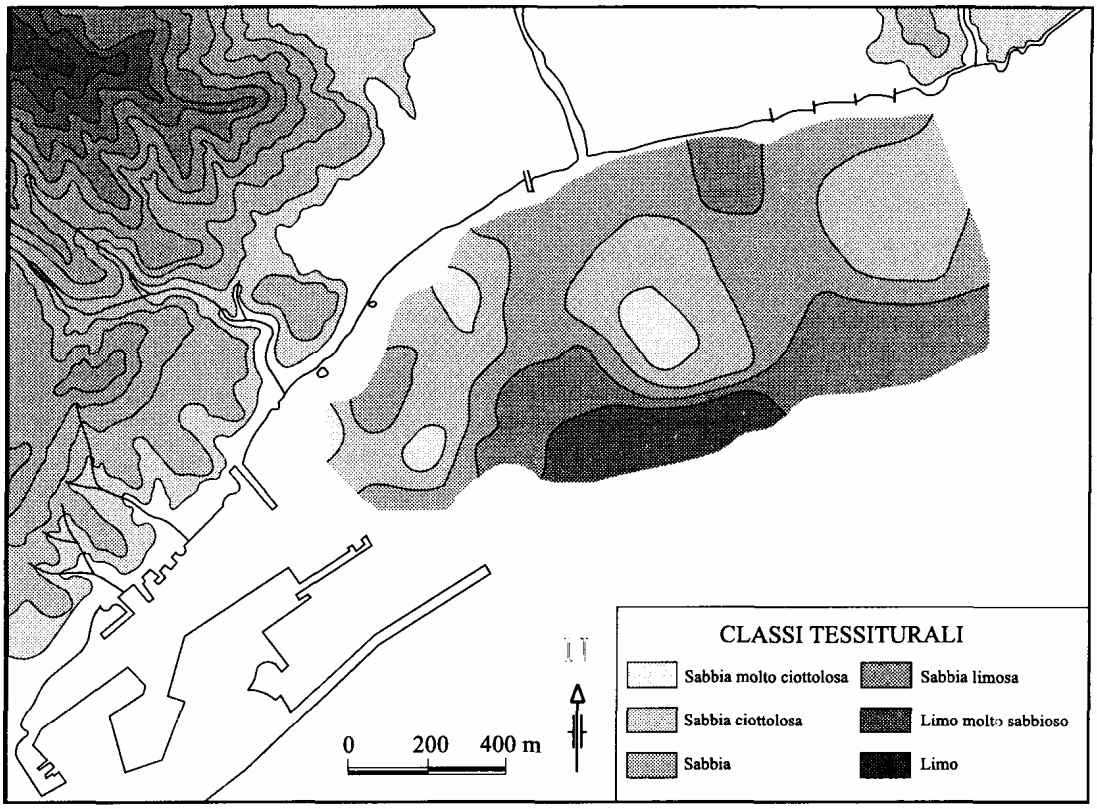


Fig. 9 - Carta della distribuzione dei sedimenti relativa alla situazione del 1990.

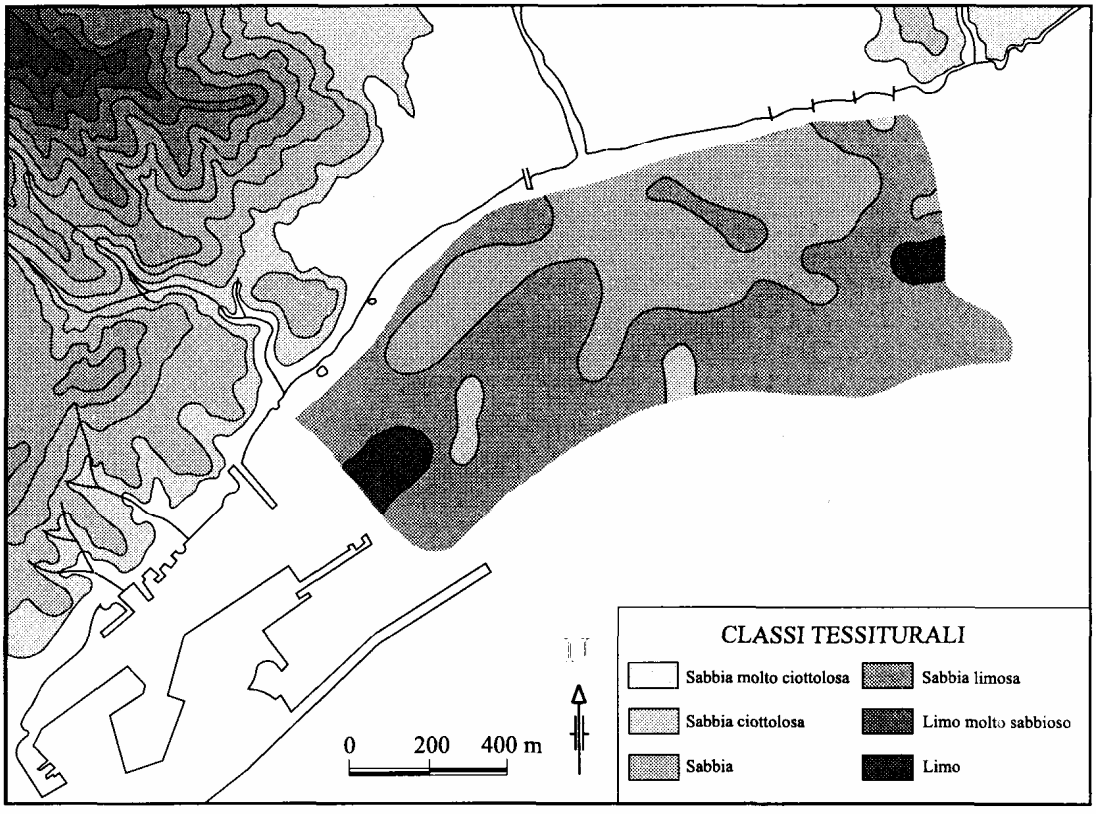


Fig. 10 - Carta della distribuzione dei sedimenti relativa alla situazione del 1995.

Il confronto delle carte relative alla distribuzione del granulo medio (Figg. 11 e 12) evidenzia quanto emerso dall'analisi dei dati tessiturali. La dimensione più diffusamente rappresentata nell'areale investigato risulta, infatti, essere quella <0,2 mm; si può altresì notare come persistano settori caratterizzati da valori maggiori disposti agli estremi occidentale ed orientale e nella zona prospiciente alla foce del Torrente Sansobbia, in posizione distale. In questo settore, col tempo, si osserva una generalizzata diminuzione, spesso anche considerevole, del granulo medio; questa peculiarità è particolarmente accentuata nella fascia più occidentale, antistante all'imboccatura del porto di Savona, dove si nota addirittura un'inversione del trend dimensionale che, mentre nel 1990 risultava crescente procedendo da E verso W, nel 1995 appare decrescente.

Inoltre, nella carta relativa al 1995 (Fig. 12), compare un nuovo settore caratterizzato da sedimenti con dimensioni medie più grossolane, immediatamente antistante alla foce, che non era presente nel 1990: questa variazione è quasi certamente imputabile ai consistenti apporti solidi del torrente, originati dal susseguirsi degli eventi alluvionali, non ancora completamente ridistribuiti dalle mareggiate.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La dinamica sedimentaria, a seguito degli eventi di piena del Torrente Sansobbia, può essere così schematizzata: parte del carico solido viene depositato lungo l'alveo e parte, arrivato in mare, va a costituire un accumulo piuttosto pronunciato, che viene poi lentamente rimodellato e ridistribuito dall'azione del moto ondoso; successivamente, in conseguenza di eventi di minore importanza, il materiale presente lungo l'alveo viene rimobilizzato fino a raggiungere la foce, dove può formare una barra e venire quindi ridistribuito.

Il *drift* litoranee che, prima del prolungamento del molo foraneo del porto di Savona, era diretto ovunque da W verso E, dopo il 1989 ha subito una locale inversione a ponente della foce del torrente: questo ha fatto sì che il carico solido venga prevalentemente trasportato verso occidente con un conseguente iniziale avanzamento più accentuato delle spiagge in questo settore rispetto a quello orientale.

I Comuni di Albissola Marina e di Aibisola Superiore, al fine di prevenire ulteriori esondazioni del Torrente Sansobbia, hanno recentemente commissionato una serie di interventi sia nell'alveo sia alla foce. Tali interventi prevedono la regolarizzazione e l'abbassamento dell'alveo con l'escavazione di oltre 200.000 m^3 di materiali che verrebbero in parte utilizzati per il ripascimento del tratto orientale del litorale albisolese. È prevista, inoltre, la costruzione di due pennelli in sponda sinistra e destra della foce, fino all'isobata dei -3,5 m. Gli interventi sul torrente sono tesi all'aumento della sua sezione idraulica mentre i due pennelli servirebbero ad evitare la formazione della barra di foce, ritenuta di ostacolo al rapido deflusso delle acque in caso di piena.

I dati esposti nel presente lavoro lasciano però supporre che l'escavazione, se da una parte potrà avere effetti senza dubbio positivi per la prevenzione delle esondazioni, dall'altra potrebbe provocare una sensibile diminuzione degli apporti solidi alla spiaggia in quanto, durante la piena tale materiale tenderebbe a sovralluvionare l'alveo. Inoltre la presenza dei pennelli ridurrebbe drasticamente il ripascimento, soprattutto nelle immediate vicinanze della foce, convogliando il carico solido a batimetrie più profonde dei -4 m dove potrebbe sfuggire al drift litoraneo. Questa carenza di apporti, qualora si verificasse, dovrà essere compensata da ripetuti ripascimenti artificiali con materiali idonei per composizione e tessitura.

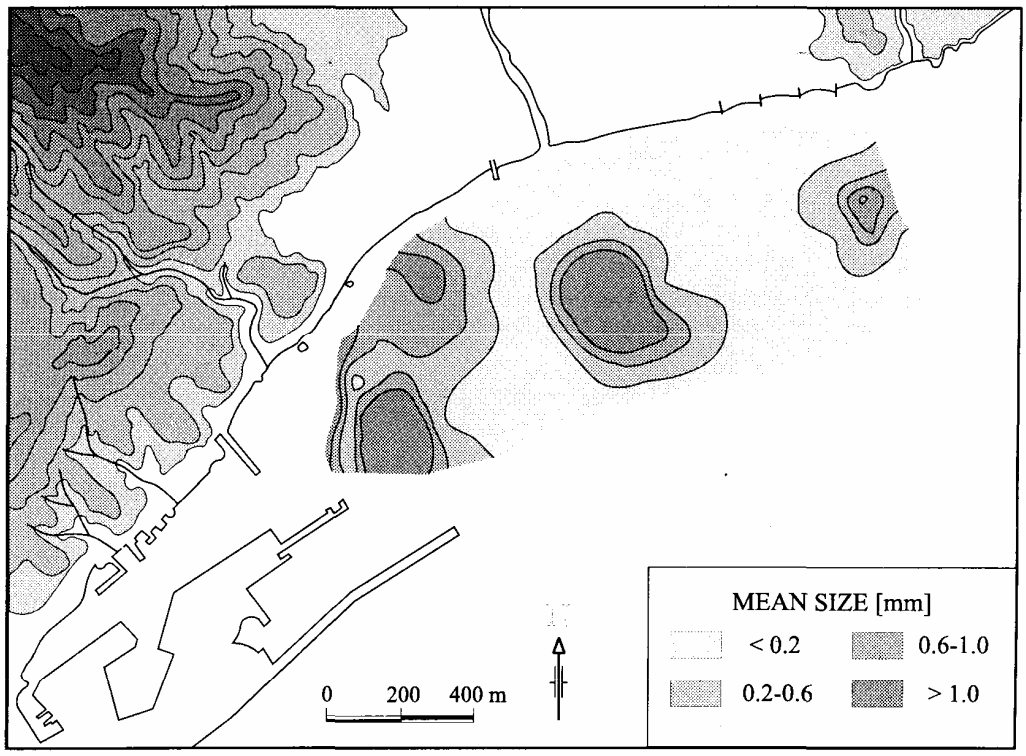


Fig. 11 - Carta della distribuzione dimensionale del granulo medio relativa alla situazione del 1990.

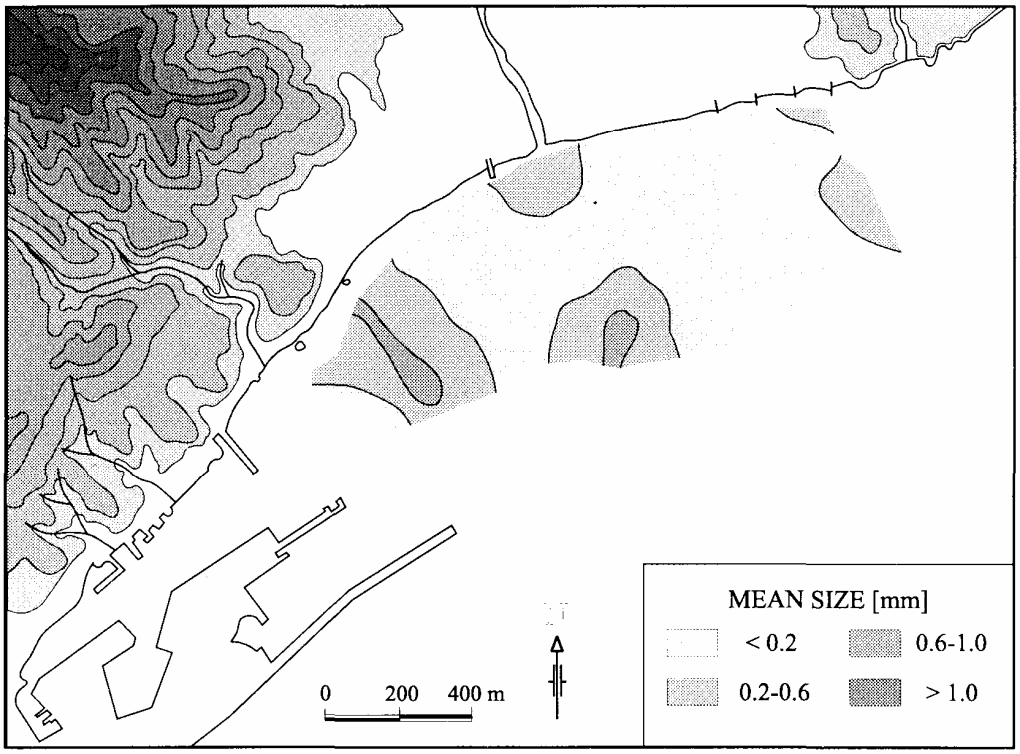


Fig. 12 - Carta della distribuzione dimensionale del granulo medio relativa alla situazione del 1995.

BIBLIOGRAFIA

Ascari A., Baccino F. & Sanguineti G. 1937. Le spiagge della riviera ligure. *Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane.* CNR. Roma.

Berriolo G., Gallareto E. & Sirito G. 1968. Le nostre spiagge. Situazione e provvedimenti necessari. Ente Provinciale per il turismo di Savona

Burlando P., Mancini M. & Rosso R. 1996. Progetto degli interventi di risagomatura e di eliminazione del rischio residuale, finalizzati alla sistemazione degli alvei e degli argini ed al ripristino delle sezioni idriche del Torrente Sansobbia. Relazione Tecnica. Comune di Albisola Superiore (SV).

Conti S. 1942. Valli in serpentina in Liguria: la Valle del Teiro. *Boll. Soc. Geol. It.,* vol. LXI (3): 345-366.

Ministero dei Lavori Pubblici. 1951-1977. Annali Idrologici Genio Civile. Roma.

Nota F.J.G. 1958. Sediments of the western Guiana shelf. *Report of the Orinoco Shelf expedition, 2,* Veenman & Zones, Wageningen, 98 pp.

Papa L. 1986. A simulation model of morphological changes in a coastal zone of the Ligurian Sea. *Bollettino dì Oceanologia Teorica ed Applicata, 4:* 219-225.

Piccazzo M., Firpo M., Corradi N. & Campi F. 1992a. Evoluzione recente dei litorali liguri: le spiagge di Albissola Marina e di Albisola Superiore (Savona). Atti del 9° Congresso A.I.O.L. (a cura di Albertelli G., Ambrosetti W., Piccazzo M. & Ruffoni Riva T.), Santa Margherita Ligure 20-23 novembre 1990: 287-301.

Piccazzo M., Firpo M., Corradi N. & Campi F. 1992b. Coastline changes on beaches affected by defence works: a case study in Albissola (Western Liguria, Italy). *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata,* Vol. X, 2-3-4: 197-204.

Rovereto G. 1904. Geomorfologia delle valli liguri. *Atti Univ. Genova,* voi. 18, 226 pp.

INDICE PER AUTORI

ACUNTOS. 51
AGUZZI L. 499
ALBERTELLI G. 75 335
ARMENI M. 427
ARTALE V. 177 189
AURIGI S. 97
BARBAREWICZ C. 245
BASILONEG. 457 467
BENASSAI G. 371
BERGAMASCO A. 381
BERTONI R. 237 245
BIANCHI C.N. 3
BOLDRIN A. 119
BONACCORSO A. 467
BONANNO A. 457 467
BONAZZI A. 391
BRUNO M. 407
BUDILLON G. 129 165
BUONGIORNO NARDELLI 213
BUZZELLI E. 407
CABURAZZI M. 499
CALISE L. 457 467
CALLIERI C. 109
CAMPOLMI M. 311
CANALE C. 23 225
CANEPA A. 39
CANEPA E. 335
CAPELLO M. 165 275
CAPRA D. 361
CARN1ELS. 381
CAROPPO C. 407
CATALANO G. 153 287
CATANI G. 391
CHIANTORE M. 75
CINELLI F. 51
CORRADI N. 39
CORSI L 97
CORSOLINI S. 97
COVAZZI A. 75
COZZI S. 153 287
CUTTITTA A. 457 467
D'ORTENZIO F. 213
DANOVARO R. 87 427
DE BERNARDI R. 23 225
DE BIASI A.M. 255 415
DE LAZZARI A. 119
DE RANIERI S. 415
DEL RY D. 435
DELL' ANNO A. 427
DELLA CROCE N. 427
DI MAIO A. 129
DIVIACCO G. 61
FABIANO M. 87
FAGGIOLI F. 117
FALCONI C. 287
FARAPONOVA O. 343
FAVALORO E. 445
FERRARI M. 275
FERRETTI O. 457
FIORI F. 361
FIRPO M. 511
FLAIM G. 325

FOCARDI S. 97
FRASCHETTI S. 335 349
FRESI E. 499
GERACI S. 335
GIACOBBE M.G. 467
GIACOBBE S. 75
GIANGRANDE A. 349
GOFFART A. 153
GONTCHAROV S. 457 467
GUERRINI A. 457 467
GUGLIELMO L. 311
HEINIMAA S. 109
IUDICONE D. 189
IVALDI R. 39
JERACE S. 75
LA MESA G. 489
LA MESA M. 489
LARDICCI C. 51
LENARDON G. 391
LENCIONI V. 325
LICANDRO P. 143
LIPIZER M. 153 287
MALTAGLIATI F. 51
MANCA M. 265
MANINI E. 87 299
MARABINI F. 199
MARCELL1 M. 499
MARCHIAFAVA C. 287
MARTINI A. 165
MAZZOLA A. 311 445
MAZZOLA S. 457 467
MENCI F. 499
MERZANIS A. 199
MESSANA G. 435
MONTANARI M. 477
MORABITO G. 265
MOSCHELLA P. 477
NONNIS MARZANO F. 361
OSSOLAC. 143
PASSONI S. 109
PASTORE M. 407
PATTI B. 457 467
PERILLI A. 457 467
PICCAZZO M. 511
POGGI F. 511
PREDONZANIS. 153
PUCCIAE. 299
PUGNETTI A. 237 245
PULCINI M. 415
PUSCEDDU A. 87 299
RABITTI S. 119
RAVERA O. 343
RELINI M. 477
RIALDI G. 335
RIBOTTI A. 457 467
RICCARDIN. 29
RINDI F. 51
ROSSI F. 51
RUFFINI S. 153 287
RUGGIU D. 265
RUPOLOV. 189
SARÀ G. 299 445
SBARDELLA P 511
SERRACCA P. 39
SICCARDI A. 477
SORGENTE R. 457 467
SPEZIE G. 129 165
SPROVIERI M. 457 467
TESLER W. 457 467
TOZZI S. 213

TRIMARCHI E 287
TRTULZT C. 361
TUCCI S. 165 275
TUNESI L. 61
TUNIS G. 391
TURCHETTO M.M. 119
VACCHI M. 489
VAGHI M. 361
VALLERGAS. 457 467
VIGNES F. 287
VINCI A. 391
VIRNO LAMBERTI C. 415
VIVIANIF. 371
ZAGAMIG. 311
ZOBOLI A. 361