ATTI

DELLA

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI OCEANOLOGIA E LIMNOLOGIA

Proceedings of the Italian Association of Oceanology and Limnology

Volume 13 (2)

Genova 2000

Ditta Giuseppe Lang s.r.l.
Arti Grafiche
Salita delle Fieschine, 30 r.
16122 Genova

INDICE

CATALAN J. - Primary production in a high mountain lake: an overview from minutes to kiloyears. Pag. 1

BUDILLON G., ORTONA A., PASCHINI E. - Analisi dei trasporti di fresh water nel sistema costiero anconetano. Pag. 23

BUDILLON G., PASCHINI E., RUSSO A., SIMIOLI A. – Primi risultati CODAR sulle correnti marine superficiali nell'area anconetana. Pag. 33

MARTINI A., CAPELLO M., FERRARI M., CARNIEL S. **-** Alcune considerazioni sulle caratteristiche del materiale sospeso nelle acque del Nord- Adriatico. Pag. 43

GIANI M., GISMONDI M., SAVELLI F., BOLDRIN A., RABITTI S. - Carbonio organico, azoto e fosforo particellati nell'Adriatico settentrionale: distribuzione verticale e variabilità temporale. Pag. 55

DAELLI E., OCCHIPINTI AMBROGI A., SALA I., FERRARI C. - Seasonal variations in macrobenthic communities along Emilia-Romagna coasts (northern Adriatic). Pag. 67

FANZUTTI G.P., PROTOPSALTI I. - Sedimentazione recente sul prisma costiero del Molise (Adriatico centrale). Pag. 79

ORSI M., SICCARDI A., TUCCI S. - Un approccio al problema della valutazione dei flussi orizzontali di sedimento negli ambienti ad alta energia attraverso l'uso di una nuova trappola per sedimenti. Pag. 99

BERTONI R., MARTINELLA S. - Attività dei popolamenti batterici eterotrofi nel Lago Maggiore. Pag. 113

CALLIERI C., HEINIMAA S., PASSONI S. - Interazioni protozoi-picocianobatteri: misure di grazing nel Lago Maggiore. Pag. 123

FONDA UMANI S., **ZANON V.** - Prime stime sull'efficienza della predazione del microzooplancton nel Tirreno meridionale (Isole Eolie). Pag. 133

PETRILLO M., MARTORANO D., DELLA CROCE N. - Parametri ambientali in Mar Ligure e densità di uova di *Engraulis encrasicolus* (1985-1996). Pag. 145

COCCO E., IULIANO S. - Evoluzione litoranea in sinistra Foce Sele (Golfo di Salerno) tra novembre '96 e novembre '97. Pag. 155

FANUCCI F., MORELLI D. - Caratteri e cronologia della deriva del blocco sardo-corso. Pag. 167

SERITTI A., RUSSO D., NANNICINI L., DEL VECCHIO R. - Assorbimento, fluorescenza e DOC di acque costiere e d'estuario. Pag. 183

SCHIAPARELLI S., CHIANTORE M., CATTANEO-VIETTI R., BEDULLI D., ALBERTELLI G. - The autoecology of some mud-dwelling species helps understanding changes in benthic communities of the Northern Adriatic Sea. Pag. 195

ARTEGIANI R., ZACCANTI F. - Primo studio del popolamento ittico dell'oasi di Punte Alberete (Ravenna, Italia). Pag. 207

ALIANI S., DE BIASI A.M., AMICI L., MELONI R. - Seasonal variations of sea-water temperature at shallow-water hydrothermal vents in Milos Island (Aegean Sea): some floristic remarks. Pag. 217

BARBINI R., COLAO F., FANTONI R., PALUCCI A., RIBEZZO S. - Il laboratorio integrato di telerilevamento laser delle acque marine: risultati della XIII Campagna oceanografica antartica. Pag. 227

AMICI L., DEGL'INNOCENTI F., MANZELLA G.M.R., MELONI R. - Variazioni stagionali di corrente, temperatura e salinità nella polynya di Baia Terra Nova (Mare di Ross, Antartide): tre anni di osservazioni. Pag. 237

DE VITTOR C., CABRINI M., CREVATIN E., FONDA UMANI S. - Distribuzione della clorofilla nella polynya di Baia Terra Nova (Mare di Ross) durante l'estate australe 1997-98. Pag. 249

ACCORNERO A., TUCCI S., MONACO A. - Influenza del grazing mesozooplanctonico sui flussi di sedimentazione nel Mare di Ross meridionale: risultati ottenuti da trappole per sedimenti. Pag. 259

TURCHETTO M.M., BIANCHI F., BOLDRIN A., MALAGUTI A., RABITTI S., SOCAL G., STRADA L. - Nutrients, phytoplankton and primary production processes in oligotrophic areas (Southern Adriatic and Northern Ionian Seas). Pag. 269

CAVALLO C., IVALDI R. - L'evoluzione storica del litorale di Genova attraverso due esempi caratteristici: Veltri e Albaro. Pag. 279

CABRINI M., CATALETTO B. - Fioritura di Diatomee del Mare di Ross nell'estate australe 1998. Pag. 289

COVAZZI HARRIAGUE A., CHIANTORE M., FRASCHETTI S., ALBERTELLI G. - Bivalve recruitment events in a soft-bottom macrobenthic community: micro- and macro-scale analysis. Pag. 297

DE MARTINO G. - A 3D water quality model: development and numerical tests. Pag. 307

DEL NEGRO P., RAMANI P., RIVARO P. - Bacterial activity during sea ice formation in the Ross Sea (Antarctica). Pag. 317

FERRARI M., CAPELLO M., MARTINI A. - Variabilità dei sedimenti sospesi nelle acque comprese tra Baia Terra Nova e Cape Adare (Mare di Ross - Antartide). Pag. 323

MARINI M., TOTTI C., ARTEGIANI A. - Variazioni interannuali del livello di eutrofizzazione lungo un transetto posto all'altezza di Senigallia (Adriatico-settentrionale): 1988-1994. Pag. 333

VIRNO LAMBERTI C., PULCINI M., ONORATI F., DE BIASI A.M., GABELLINI M., AUSILI A., PELLEGRINI D. - Studio integrato delle caratteristiche dei sedimenti dell'imboccatura nord del porto di Livorno. Pag. 343

LICANDRO P., PUGH P.R., SERTORIO ZUNINI T. - Copepods in the front region of the Alboran Sea (january 1997). Pag. 351

DELLA CROCE N. - Il Mar Tirreno. Pag. 363

OCCHIPINTI AMBROGI A., SALA I. - Il macrobenthos come indicatore di qualità dell'ambiente marino: una proposta operativa per il monitoraggio. Pag. 379

GARIBALDI L., MOSELLO R., BRIZZIO M.C., VARALLO A. - Chimica e fitoplancton del Lago Moro (Alpi Orobiche bresciane). Pag. 395

CORTEMIGLIA G.C., FIRPO M., PICCAZZO M. - Dinamica e caratteri evolutivi della spiaggia di Celle Ligure (Liguria occidentale, Italia). Pag. 411

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 1-21, luglio 2000

PRIMARY PRODUCTION IN A HIGH MOUNTAIN LAKE: AN OVERVIEW FROM MINUTES TO KILOYEARS

Jordi CATALAN

Department of Ecology, University of Barcelona, Diagonal 645
08028 Barcelona, Spain

ABSTRACT

High mountain lakes are extreme environments for primary producers: they are cold; they nave very low nutrients and they last for several months with an ice-cover. In this paper, 1 present an overview of primary production variability at very different time scales from minutes to kiloyears based on fifteen years' study in Lake Redo (Pyrenees) and a certain degree of speculation.

In this overview, I emphasise the changing importance of the factors governing primary production. Variability at time scales shorter than the generation time of phytoplankton is related to photo-acclimation (light and carbon) at scales of minutes to hours, and to biosynthesis constraints (nutrients) at scales from hours to days. The within plankton recycling of phosphorus links those short time scales with the seasonal patterns of variability, which are shaped by how seasonal weather fluctuations modify the internal loading of nutrients from the sediment pool. Inter-annual variability arises from variability in the seasonal productivity patterns, but at longer time scales the key element controlling primary production is the coupling of lake dynamics with the catchment bio-geochemistry.

RIASSUNTO

I laghi montani d'alta quota sono ambienti estremi per i produttori primari: freddi, con scarse concentrazioni di nutrienti e coperti da ghiaccio per parecchi mesi. Questo lavoro presenta una illustrazione sintetica, con alcune considerazioni speculative, basata su uno studio quindicinale sul Lago Redo (Pirenei) della variabilità della produzione primaria in una scala temporale che va dai minuti ai kilo-anni.

Sono sottolineati i cambiamenti di importanza dei fattori che regolano la produzione primaria. In un intervallo inferiore al tempo di generazione del fitoplancton si può dire che, nella scala dai minuti alle ore, la variabilità della produzione è legata alla fotoacclimatazione (luce, carbonio), mentre per scale che vanno dalle ore ai giorni dipende dalle limitazioni biosintetiche (nutrienti). Il riciclo planctonico di fosforo lega le variazioni a breve termine alla variabilità stagionale, che è modellata da come le fluttuazioni climatiche stagionali modificano il carico interno di nutrienti dai sedimenti.

La variabilità interannuale è generata dalla variabilità degli andamenti stagionali della produttività, ma in scale temporali più lunghe l'elemento chiave che controlla la produzione primaria è l'accoppiamento tra la dinamica lacustre e la biogeochimica del bacino.

1.INTRODUCTION

Primary production of an ecological System, community or any part thereof, is defined as the rate at which energy is stored by photosynthetic and chemo-synthetic activity of producer organisms in the form of organic substances which can be used as food (Odum, 1971). In practice, such a fundamental definition must be replaced by an operational definition, and then the researcher faces a trade-off between accuracy and representativeness. The closer the technique to the fundamental definition, the shorter the time-scale of measurement, and thus, less significant to the whole ecosystem dynamics. Therefore, the way researchers approximate primary production in aquatic ecosystems varies with the lime scale they are most interested in and, as a consequence, there is little influence and cross-feeding between them or, worse still, sometimes concepts are simply extrapolated without paying enough attention to the lime constraints.

As limnologists, we tend to prefer the annual cycle to illustrate lake productivity in text books, because it is the shortest lime scale that embraces all the large fluctuations in forcing factors that we can expect in a given lake. However, primary producers do grow at much shorter time scales, and an effective ecosystem change usually takes longer than a single year. Therefore, there is a strong need to develop a time-scaled view of primary production in lakes.

In this paper, I would like to present an overview of primary production in a high mountain lake from very short time scales (minutes) to the whole history of this ecosystem (kiloyears), emphasising the ecological features of interest and the forcing factors relevant at each time scale. Rodhe, a pioneer in highlighting the ecological relevance of high-mountain lakes (Rodhe, 1962), stated that they are good as models in which the principles of phytoplankton production may be studied, for cause-and-effect relations are less obscure than in lowland lakes. I agree with the assertion of their utility as model ecosystems to show up general ecological principles, but, after fifteen years of research in high-mountain lakes, I am not sure I agree that relations are *per se* less obscure than in other lakes. However, the dynamics of most of them are far less interfered with by human activity than lowland lakes, and in that sense they are particularly useful in studying how weather and climate fluctuations affect their dynamics.

A seminal review of primary production studies in high-mountain lakes was carried out by Pechlaner (1971); most of his conclusions are still correct for the understanding of seasonal fluctuations in productivity. In the present paper, I will adopt a different approach: I aim to justify the need of a time-scaled view of constraints to primary production in lakes, illustrated by the case of a high-mountain lake. The arguments presented are based on and will be illustrated from our own studies in Lake Redó during the last fifteen years. Lake Redo is a deep lake (maximum depth 73 m) in a granodioritic, poorly vegetated catchment (Catalan, 1988). As in most mountain lakes, constraints to production are the extreme oligotrophy and the cold environment. Most

features are transferable to other mountain lakes in the temperate zone, and even to some of the lakes to the North of the tree-line in Fennoscandia. Conclusions on time-scaling should also be applicable to many lowland lakes.

The higher relevance of different processes at different lime scales introduces a causal hierarchy in the ecosystem functioning (O'Neill *et al.,* 1986). The processes relevant at longer lime scales set up the framework where the processes at lower lime scales take place; and they are modified by the lime integration of processes at lower scale. Dealing with organisms, generation times convert these lime-relative concepts into the actual time scales. Most primary producers in high-mountain lakes are unicellular algae, therefore, completion of a cell cycle (hours to days) becomes the key time scale that separates the acclimation or physiological time scales from the adaptation or ecological time scales.

2. THE PHYSIOLOGICAL SCALE: FROM MINUTES TO HOURS

Because total phytoplankton biomass is always low in mountain lakes, light penetration into the water column is very high (Laurion *et al,* in press). Along the year, the light field that populations receive changes dramatically both in mean and variance. As a consequence, photo-acclimation becomes a central issue at short time scales of mountain lake ecology. In general, the photosynthetic response of phytoplankton in those lakes saturates easily. In Lake Redo, photosynthesis *vs.* irradiance experiments along the year showed that irradiance where saturation starts (I_k) is always around 40-50 $\mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$, even in the epilimnion during summer stratification (Camarero *et al.,* 1999). Therefore, most of the acclimation is related in how to deal with too much radiation in a water column generally poor in nutrients. Cells usually have small plasts compared with cell volume, and the fluorescence yield per unit chlorophyll tends to be very high in the upper epilimnion.

On the other hand, due to altitude and high transparency because of the low dissolved organic carbon (DOC), the levels of the damaging UV-B radiation are particularly high compare to lowland lakes (Sommaruga & Psenner, 1997). Phyto-plankton growing in shallow lakes or in the upper part of deep lakes are particularly well adapted to that high radiation (Halac *et al.,* 1997). However, in deep lakes the populations from metalimnion and hypolimnion remain sensitive (Fig. 1). If they are exposed to UV-B radiation their photosynthetic capacity is reduced. This particularity might be a major force promoting phytoplankton succession when convective penetration in autumn brings water from the hypolimnion to the epilimnion.

3. THE GROWTH SCALE: FROM HOURS TO WEEKS

Yet Odum's fundamental definition of primary production is based on an ecosystem point of view, net primary production in pelagic environments is, in the end, growth of phytoplankton. The constraints on primary production are the constraints to phytoplankton cells to complete their cell cycle (Capblancq & Catalan, 1994). Completion of the cell cycle depends crucially upon the replication of the DNA, the S phase. It only occurs if the regulatory protein System "detects" that the cell has all the

necessary resources to complete mitosis. Therefore, primary production even at the cell level is not only a matter of energy incorporation, but also of availability of resources in the right proportions.

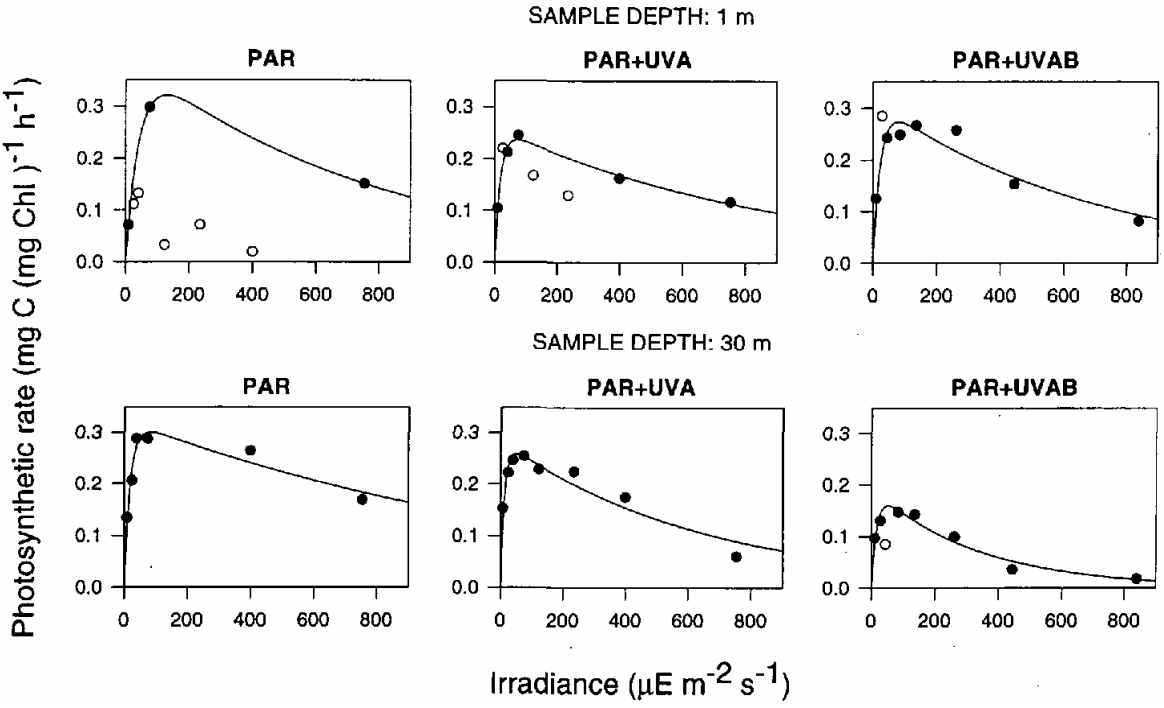


Fig. 1 - Photosynthesis *vs.* irradiance curves from Lake Redó, July 4, 1996. Phytoplankton from surface (1 m) and deep (30 m) in the water column were tested under full spectrum (PAR+UVAB), excluding UVB radiation (PAR+UVA) and under pholosynthelic active radiation exclusively (PAR). The distinct behaviour between deep and shallow samples indicates the different degree of acclimation to UV radiation (data from Camarero *et al.,* unpublished).

Assuming for a while that there is no resource limitation, phytoplankton growth, and thus replication rate (r_R) depends on temperature and on the ratio between membrane exchange capacity and internal use capacity of the cell; in other words, it depends on the ratio between cell surface and cell volume (s/v). Combining the empirical relationships found by Reynolds (1989,1997), the relationship can be formulated as follows:

$$r_R = 10^{\left(a-\frac{e}{T}\right)}\left(s/v\right)^{\left(\frac{d}{T}-b\right)}$$

where a, b, e, d were experimentally determined (Reynolds, 1997), being 11.5867, 8.2245, 3,378 and 2,505, respectively; and T, absolute temperature. Considering the range of temperature (0-15 °C) and cell size found in Lake Redó (Tab. 1), the potential replication rates in the lake can be estimated (Fig. 2). It appears that large forms are strongly temperature dependent. In the lake, except in the epilimnion during summer, water temperature is around or well below 6 °C in most of the water column, and the

dominant phytoplankton have s/v ratios around 1.5 μm^{-1}, thus, typical generation times are around 1.5-2 days. To what extent could this potential growth rate be sustained given the nutrient availability in the water column?

Tab. 1 - Range of surface:volume ratio (μm^{-1}) in Lake Redo's phytoplankton.

spherical picoplankton, needle-shaped small chlorophytes	3
small chrysophytes, small cryptophytes	1.2-1.5
large chrysophytes	0.7-0.8
Diatoms	0.5-0.7
large cryptophytes	0.4
large colonial chlorophytes	0.15

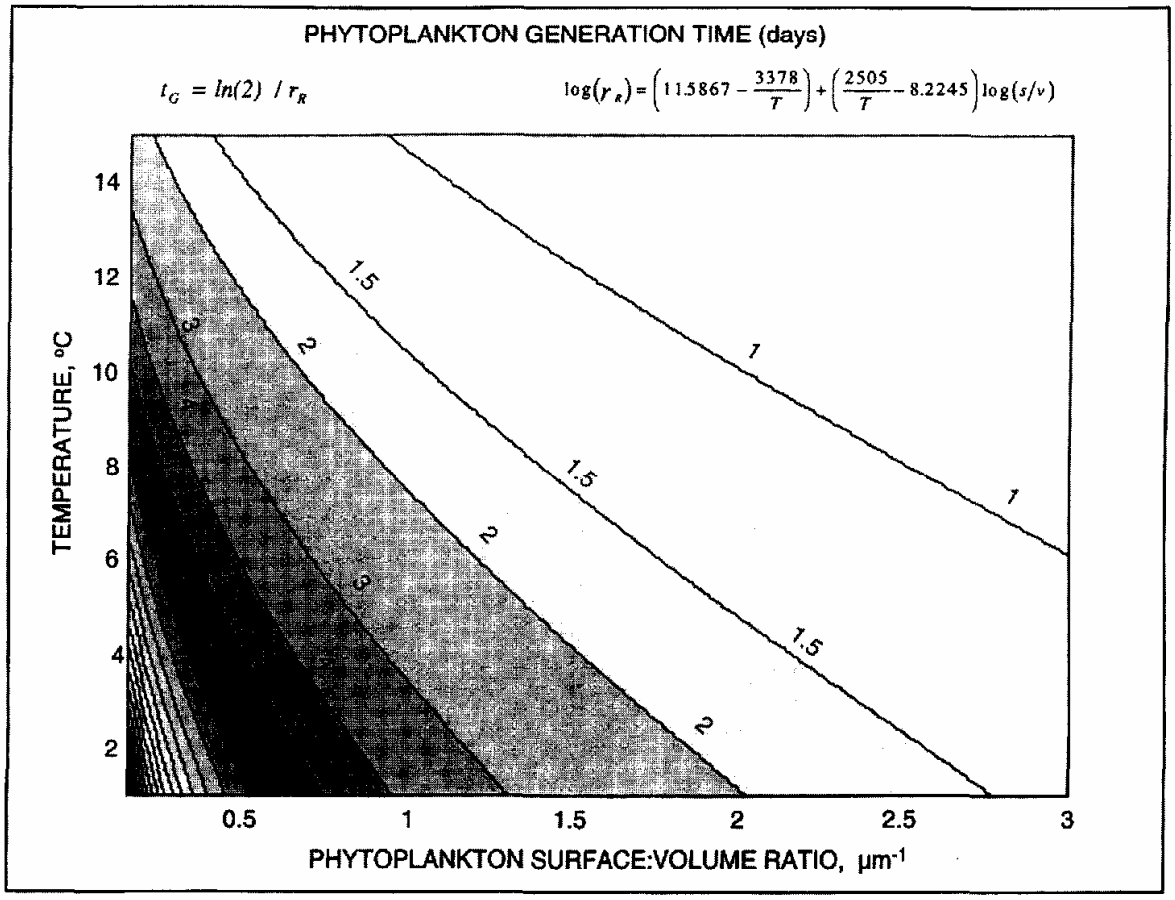


Fig. 2 - Isoline diagram of estimated potential replication rates for phytoplankton of different cell surface:volume ratios at the range of temperatures found in Lake Redo. The equations used for the calculations are also indicated, where t_G is generation lime, r_R, replication rate, T, temperature in Kelvin degrees, and s/v, the surface:volume ratio.

This question can be addressed by calculating the nutrient flux required to sustain the maximum growth rate of a cell at a given temperature. The nutrient need is determined by multiplying the specific growth rate (r_R, mol C (mol C)$^{-1}$ s^{-1}) by the atomic ratio between the nutrient in question and carbon within the cell (A_r). On the other hand, the nutrient flux in steady state towards a spherical cell is given by (Jumars *et al.,* 1993)

$$J = sD\frac{(C_\infty - C_o)}{r}$$

where J is the nutrient flux (mol s ' celi^{1}); s, r, the cell surface and ratio, respectively; D, molecular diffusivity; and C» and C_0, the nutrient concentrations in open water and at the cell surface, respectively. The concentration at the cell surface will be dose to zero at maximum growth rate, in order to keep the highest possible gradient and thus nutrient flux. Therefore, normalising the nutrient flux to the carbon content per cell (C_{cell}, mol C cell^{-1}), a critical nutrient concentration in the medium (C_{cri}) to allow for the maximum growth rate of a spherical cell can be defined as follows,

$$C_{cri} = \frac{C_{cell} r_R A_r}{12\pi\left(s/v\right)^{-1} D}$$

Applying this approach to some of the characteristic species of the phytoplankton in Lake Redó, the range of critical concentration for phosphorus at different temperatures is shown in Fig. 3a. For most of the species, the concentrations are between 2 and 10 nmol P l^{-1}. Fig. 3b shows the distribution of phosphorus concentrations from measurements made at different depth during several seasonal cycles in Lake Redó. Those values allow for maximum growth for most of the species normally found, particularly in periods with temperature below 8 °C. In periods, without a net increase in phytoplankton biomass the condition of maximum growth is also usually satisfied.

These calculations open several hypothesis worth examining. On the one hand, they mean that changes in the composition of the phytoplankton assemblages favour species that can grow at maximum rate in the given concentrations of nutrients. On the other hand, in periods without a net increase in phytoplankton biomass, nutrient loading must at least compensate phytoplankton uptake, and equal the losses by sedimentation; since species still grow at their maximum rate according to the calculations, but external nutrients are not depleted to levels unsuitable for any of the existing species. The nutrient loading can come either from outside or from inside the System; and within the System from the sediments or from *in situ* recycling in the water column by means of grazing and cell excretion. If depletion is apparently so uncommon through space and time, the latter possibility becomes the most likely to occur permanently, the fluctuations in other loadings being involved in increasing or decreasing the total biomass.

Recently, it has been shown that cycling efficiency does not vary with phosphorus concentration (Hudson *et al.,* 1999) and that phosphorus supply for lake plankton

comes primarily within the plankton community, rather than from external loading or from larger organisms such as fish. This finding is particularly relevant to link production to higher lime scales.

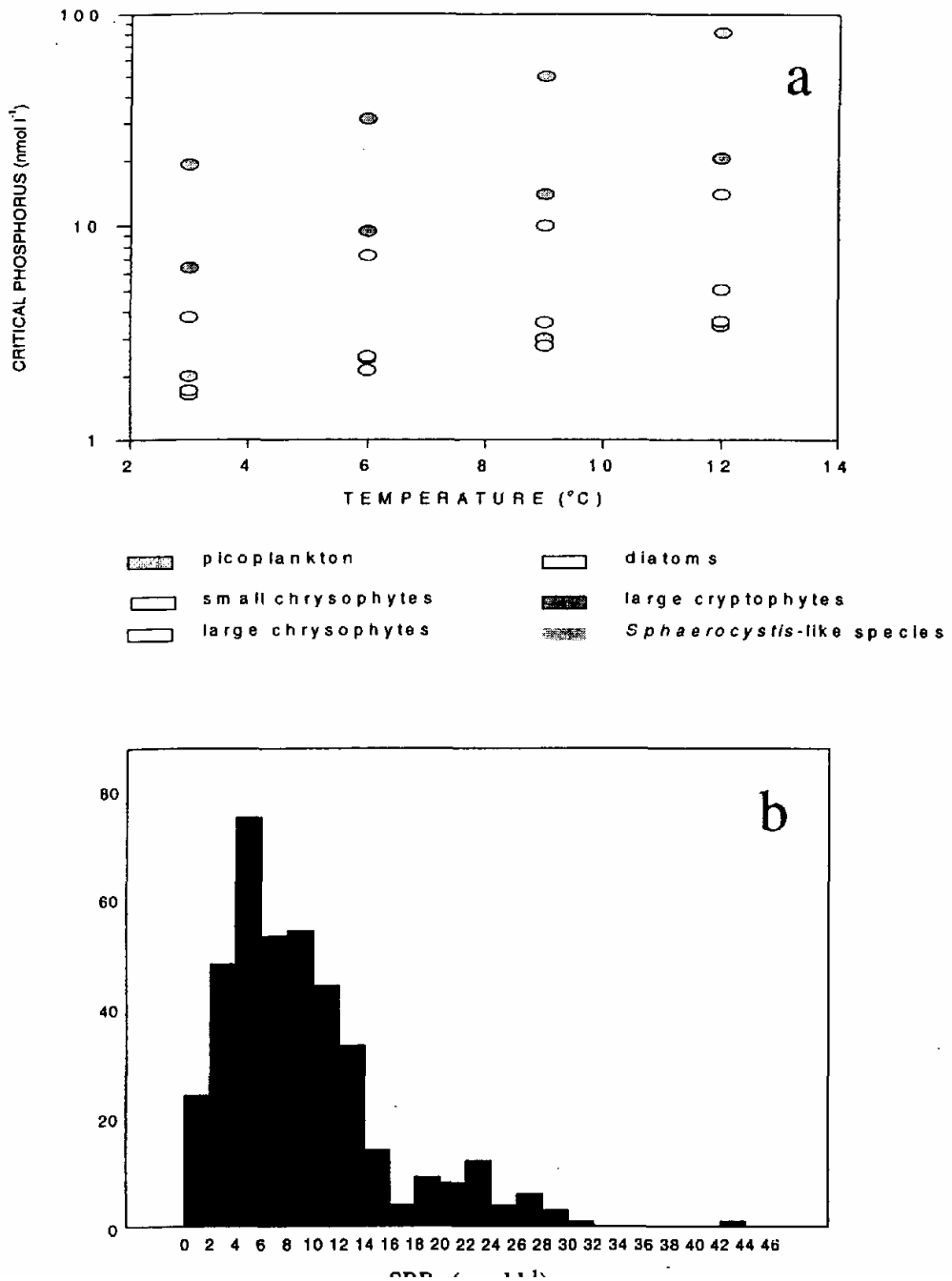


Fig. 3 - a) Critical phosphorus concentrations necessary for reaching maximum replication rates at different temperatures for some representative phytoplankton from mountain lakes. b) Histogram of reactive soluble phosphorus measured in Lake Redo at different depth and along several seasonal cycles.

4. THE SEASONAL SCALE: FROM SOME WEEKS TO A WHOLE YEAR

From a biogeochemical point of view, primary production at seasonal scale in Lake Redo is mainly driven by availability of light and internal loading of nutrients, as chanses in algal biomass illustrate (Fin. 4).

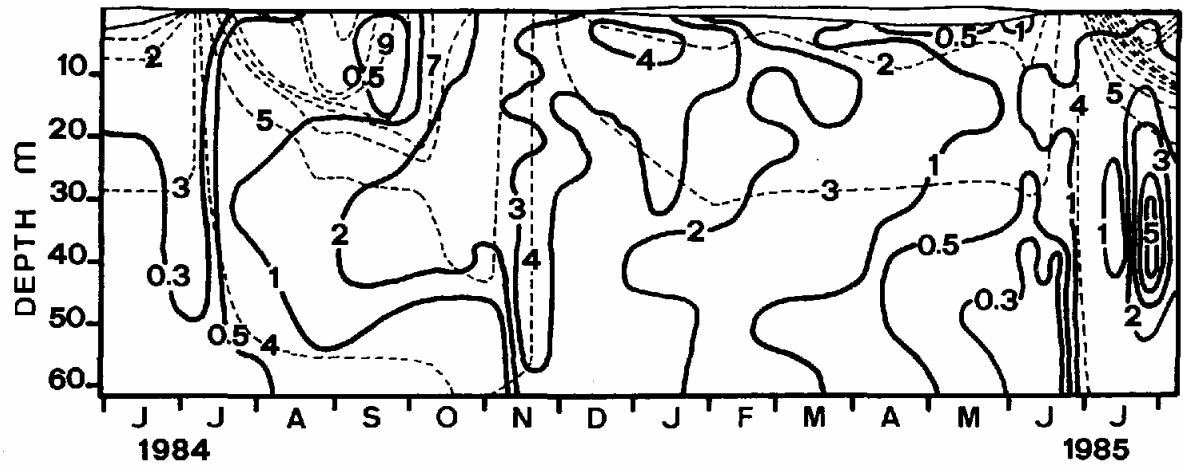


Fig. 4 - Isoline diagram showing the seasonal changes in chlorophyll (µg chl l^{-1}). Isotherms (dashed lines) are indicated to provide a reference of the stratification and mixing patterns in the lake. The ice and snow cover is also indicated and its thickness is scaled lo depth (Catalan & Camarero, 1991).

In winter, on top of ice there is always enough snow to reduce light to levels unsuitable for photosynthesis for quite a long period (Catalan, 1989 and 1992). The limits to low light adaptation are illustrated by the luck of acclimation to very low light levels when snow accumulates (Fig. 5). During overturn and the initial ice-cover phase, phytoplankton adapt their I_k to the mean light field they receive: either to a mean light field in the water column, if they are being mixed up and down during the overturn, or to the light they receive at a given depth during the early ice cover. However, when snow accumulates sufficiently to reduce light below 10 µE m^{-2} s^{-1} , modification of I_k stops, it cannot go any lower and primary production falls to nil.

For the rest of the year, primary production is mainly driven not by light but by the availability of nutrients, particularly phosphorus. Phosphorus concentration in snow and rain is usually higher that in the lake water (Catalan, 1989), thus inflow is always a nutrient source for the water column, which may partially explain the peaks during spring when nearly hall" of the annual precipitation goes through the lake in a few weeks, because of the winter accumulation of snow in the catchment. However, the internal loading of nutrients appears to be the key factor conditioning the seasonal production in the lake, since the larger and the area of fine sediments affected by mixing, the higher the water column productivity.

Because most mountain lakes were formed by glacial over-deepening, they have some common morphological features. Apart from a narrow shallow littoral zone, only relevant in small lakes, the walls are very steep, to the point that fine sediment is not deposited in a stable way until some significant depth (usually below mean depth) is

reached. Internal loading starts to be significant when mixing reaches that critical depth at which fine sediments (nutrient reservoirs) accumulate (Catalan 1988, 1991).

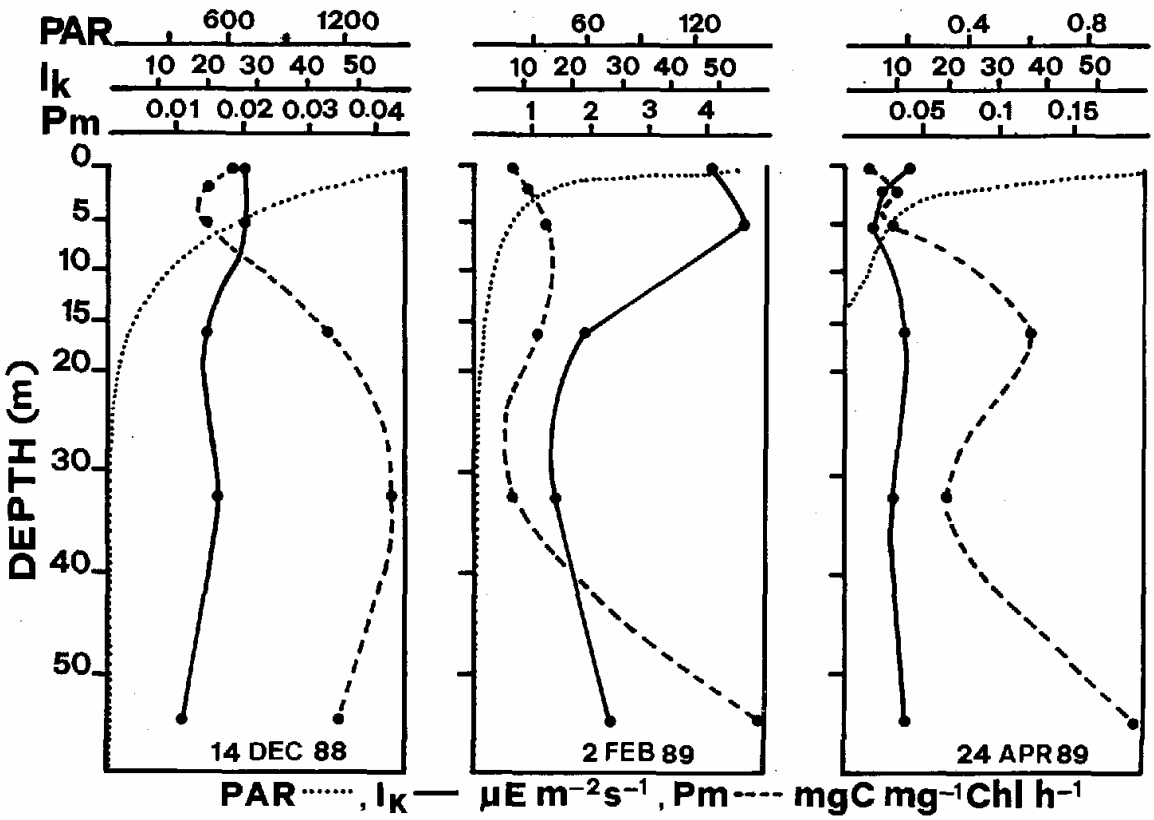


Fig. 5 - Profiles showing light penetration (PAR, photosynthetic active radiation), light intensity saturating photosynthesis (I_k) and maximum photosynthetic rate (Pm) al three different periods during winter 1988-89 in Lake Redó. During the ice free period (12/88) vertical mixing did not allow I_k differentiation and phytoplankton was adapted lo mean depth irradiance. During the clear ice-cover phase (2/99), I_k variability followed light values, lime of mixing was larger than lime of adaptation. Finally, during the opaque ice-cover phase (4/89), phytoplankton was not able lo adapt its I_k lo the extremely low irradiance (Catalan, 1991).

Because of the dependence on internal loading, productivity during stratification is low, light penetration very high and, as a consequence. the chlorophyll maxima appear deep in the water column, below the seasonal thermocline. In shallow lakes, the maxima develop on top of the fine sediment, perhaps as a result of nutrient diffusion from sediments. In deep lakes, such as Lake Redo, the chlorophyll maxima appear at the base of the metalimnion or in the upper part of the hypolimnion. These layers have higher apparent diffusion coefficients than the strict metalimnion or the lower metalimnion (Catalan, 1988), probably because of the internal wave breaking at the shores and horizontal transport inwards (Imberger, 1994). The role of the benthic boundary layer dynamics merits further research in both cases. In very low mineralised waters, at the level of those summer chlorophyll maxima, some deficit in CO_2 may

occur, although the opposite, over-saturation, is generally the rule for most mountain lakes (Psenner & Catalan, 1994).

As stated above, phosphorus is usually the limiting nutrient, and therefore the driving element for primary production. However, availability of ammonia is not always sufficient to cover the nitrogen demand. Particularly, during autumn and early ice-cover productive phases, ammonia is below 0.5 µmol 1^{-1} and then nitrate uptake starts (Catalan. 1992). Nowadays, because of the large nitrogen content in atmospheric deposition, nitrate concentration in lakes of the temperate zone is very large compared to the needs, and the decrease because of uptake does not significantly deplete the water column concentration. However, this was not necessarily the case before industrial times. although a situation similar to the present in the Colombian Andes, where nitrogen is the limiting element (Donato, 1997), is unlikely for most lakes in the temperate zone given the nature of the bedrock, poor in phosphorus.

In summary, combining the patterns induced by ice formation and mixing and stratification, the seasonal cycle of Lake Redo and probably for most high mountain lakes in the temperate zone can he divided into the following phases:

Overturn period: when radiation quickly decreases in autumn, and air temperatures are low, the deepening of the seasonal thermocline accelerates and there is a point where convection works upon fine sediment. This increases the instantaneous internal loading of nutrients and growing conditions for phytoplankton change substantially, light limitation becomes progressively more relevant and the chlorophyll maximum moves from below the thermocline to the mixed layer.

Clear ice-cover period: when lake temperature drops below 4 °C, cooling quickly brings the surface water to the freezing temperature, because of the change in the buoyancy. A clear ice sheet develops, but light still can penetrate to a significant depth since the ice is transparent, and allows for a episodic high productivity below the ice (Catalan & Camarero, 1991). During this period the lake is still cooling, thus the longer this period the thicker the ice sheet and the lower the temperature within the lake for the rest of the -ice-covered period.

Opaque ice-cover period: the below-ice growing phase finishes as soon as enough snow accumulates to block out the light. Most of these lakes easily accumulate more than one meter of snow. Then, a period of several moths starts where phytoplankton and non-living suspended matter slowly sink. The oxygen consumption progressively produces an under-saturation that is higher in the deepest layers, because of the large sediment surface in contact with water layers. At the same time, CCK production by organic matter decomposition decreases pH. There is a point where these trends allow the diffusion of reduced forms from the sediment (e.g. Mn^{2+}, Fe^{2+}) (Catalan, 1992), nutrients (SRP) and cations (Ca^{2+} Na^{+},...) (Catalan & Camarero, 1993).

Thawing period: the transition between the ice-covered and ice-free periods is characterised by a relatively quick, and spatially heterogeneous melting of the cover followed by deep mixing while warming up, and a high flushing rate, because of the thawing of the catchment snowpack. The light environment in the water column quickly changes from darkness to the highest radiation levels during the year. The biological response during this period is still quite unclear, and probably conditioned by the renewal time of the lake. In small, shallow lakes the plankton community can be

washed out, and in deep lakes, such as Lake Redo, phytoplankton communities are stressed by high dilution, pH drops and, because of deep mixing, fluctuations between exposure to harmful radiation and light-limited conditions. However, on pools of the melting snow cover, primary production can peak to very high values, due to the fast growth of snow algae (Felip *et al.,* 1995 and 1999b).

Stratification-onset period: as soon as lake water reaches 4 °C, water column stratifies and phytoplankton blooms. This chlorophyll maximum occurs just below the thermocline. The initially shallow thermocline is usually deepened in a few weeks by wind action to a depth where it is stable to wind mixing. The chlorophyll maximum deepens too, and locates at the base of the metalimnion (Catalan & Camarero, 1991). There is a strong vertical gradient in the environmental conditions and surface waters reach the highest temperatures.

The beginning of each period can operatively be defined as follows: overturn period, when the mixed layer reaches mean depth; clear ice-cover period, when lake freezes; opaque ice-cover period, when snow accumulation reduces penetration of photosynthetically active radiation to <10 $\mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ at noon on a clear day; thawing period, when cover breaks along the shoreline because the water level rises due to the thawing of the snow in the catchment; stratification on-set period, when surface water reaches 4 °C; and, finally, stratification period, when the deepening of the initial thermocline practically stops.

The diversity in species responses to the seasonal cycle are obviously richer than the biogeochemical patterns (Felip, 1997), and the differences between lakes are probably higher. Mountain lakes constitute an interesting environment for the study of survival strategies in extreme conditions (diluted, cold and nutrient-poor habitats). Adaptive features to different conditions along the year have not been sufficiently investigated; however a few examples can be mentioned. Increase in chlorophyll per cell as light becomes limiting is a feature that repeats in these lakes, particularly if they are deep. Although this can happen as an acclimation of a given species, it is more common to find a substitution of species, either vertically during stratification, or temporally, as biomass accumulation in the water column increases. Species with low content in chlorophyll per cell are substituted by species with higher content. This substitution introduces a shift, either spatial or temporal, between the biovolume maxima and the chlorophyll maxima (Felip & Catalan, 2000). In terms of life-forms there is also a substitution from flagellates (cryptophytes and chrysophytes) towards non-flagellated forms with thicker walls (chloroccocal chlorophytes, *Stichogloea).* Light acclimation may not be the only significant factor driving the succession, grazing pressure might be an added factor, since zooplankton biomass usually increases with the shift between the two life-forms.

Coexistence in a single organisms of phagotrophy with osmotrophy is an interesting evolutive issue (Raven, 1997), mountain lakes are particularly rich in this sort of organism. An interesting survival feature, described for a first lime in lake Redó, is the colonisation of the slush layers of the snow and ice cover of the lake by flagellates entering with the flooding water when the whole cover sinks because of the weight of the accumulated snow (Felip *et al.,* 1999b). Within the cover, chrysophytes and

cryptophytes seem to grow heterotrophically at higher rates than below the water column. The interstitial environment apparently enhances the encounters with bacteria.

Another interesting case of adaptive behaviour performed by *Dinohryon cylindricum* has also been described in lake Redo (Felip, 1997). This chrysophyte grows during thawing and early stratification periods, and sometimes during overturn and clear ice-cover periods, but it declines during summer stratification. During the growing phase, the cells divide quickly and form colonies, where the cells are linked by the cup-like shells. During this phase, the growth is mainly autotrophic, and high photosynthetic rates have been measured (Calalan & Camarero, 1991). When the population declines. it does not disappear completely from the water column, but the population concentrates deep in the water column, outside the photic zone, apparently surviving by bacterivory.

5. THE INTER-ANNUAL SCALE: A FEW YEARS

The seasonal partition of primary production is the basis of inter-annual fluctuations. Variability in primary production patterns at this lime scale may arise from how weather fluctuations modify the timing and intensity of the internal loading of nutrients, since the re may be little variability in external loadings. In that aspect. weather components affecting the length of the ice-cover may be particularly relevant.

Lake Redó has a distinctive pattern of productivity, including a spring and an autumn component. The spring peak is normally larger than the autumn peak. as shown by several consecutive annual surveys (1996-99) (Ventura *et al.,* submitted). However, this pattern was not followed in 1984, a year with a particular long ice-covered period (Fig. 4). That year, spring production was very low, and autumn production was particularly high. In 1985, the ice length was again shorter and spring peak developed again. Using manganese as marker of the spreading of the internal nutrient loading throughout the whole water column, it appeared that the longer the ice-cover, the shorter the overturn period during spring (Catalan, 1987). The transition towards stratification is quicker. because of the higher radiation when ice out occurs; thus, it takes shorter time to warm water to above 4 °C, the temperature of maximum stratification. determining the onset of stratification. It is interesting that the autumn productivity that year was larger than any other productivity observed up to now, suggesting that the potential nutrient loading that was not released to the water column from the sediments in spring was effective in autumn, and thus the annual total productivity was similar to other years.

Another source of interannual variation is biological interactions, particularly because of fluctuations in some key species. *Daphnia* is the archetype: large fluctuations in their populations have been observed in some lakes. The mechanism is still unclear. although their is no question that they can be relevant for the variations of productivity from one year to another, since during some periods most of the plankton biomass. and therefore phosphorus, is in form of *Daphnia* biomass (Ventura *et al.,* submitted).

If we focus on primary producer composition. the interannual variability appears to be high (Felip *et al.,* 1999a), and it is difficult to define rules of seasonal succession, apart from the one commented in the previous section on chlorophyll content and the

groups related to that feature. Nevertheless, within groups some species behave more regularly than others; in the seasonal distribution of the chrysophyte cyst, it is possible to distinguish five groups, those indifferent to the season, those related to summer, spring or autumn, and those appearing both in spring and autumn (Pla, 1999).

External forcing acts, directly or indirectly, on the rates of growth (r) of each species, and this determines fluctuations in the populations from one year to another. However, too often it is forgotten that the effective change of the populations within a year also depends on the number of remaining cells (N) or viable cysts from the previous year (dN/dt=rN). This starting effect might be very important in accounting for the year to year variability in species composition, and in which are the dominant species at each blooming situation. The variability of a small plankton *Cosmarium* sp. illustrates the case. This species of a few microns slowly decays during the ice-covered period: the larger the population remaining in the water column, the larger the spring peak of the species in the following year (Felip, 1997).

Clear interannual patterns in some species may arise when an external pattern directly impinges in the key growing period of that species. A paradigmatic example is the response to the recent warming in the Pyrenees of two planktonic diatoms growing in the late phase of the stratification period in lake Redo, *Fragilaria nanana* growing in September has being following the recent fluctuations in air temperature during this month, and *Cyclotella pseudostelligera* that succeeds it, has been following the October air temperature trend (Fig. 6). However, even in this case, the response does not match year to year variability in forcing, but decade patterns, since interannual variability in forcing is very high, and fluctuations in the whole temperature range are possible in one year (Catalan *et al.,* in press).

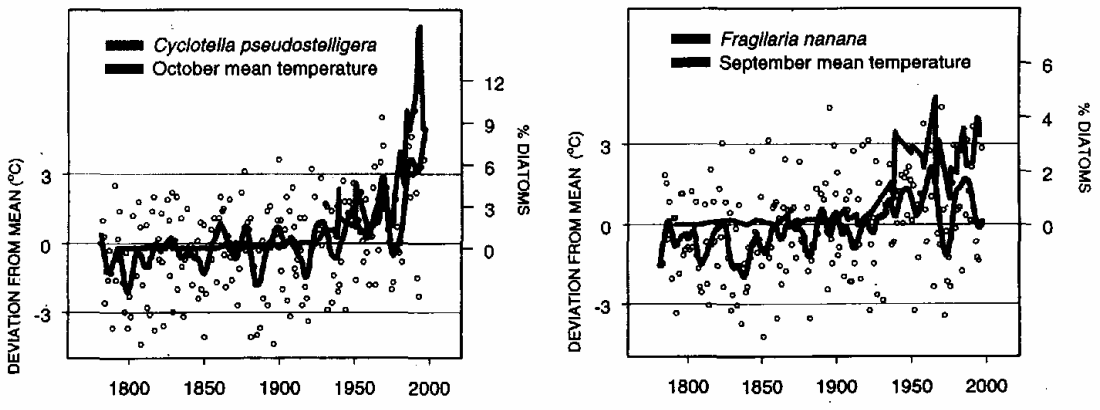


Fig. 6 Comparison between the sediment record of two planktonic diatoms and the mean monthly air temperature during the month when they bloom in Lake Redó for die period between 1782 and 1997. Dots are yearly values, the black solid line is a smoothing (LOESS span 0.05) of these data corresponding to the decadal fluctuations (Catalan *et al.*, in press).

6. THE PALAEOLIMNOLOGICAL SCALE: FROM A FEW DECADES TO CENTURIES

High-mountain lakes date back at most to the end of the last glaciation in the temperate zone of the planet. Therefore, the ecological history of high-mountain lakes is framed by the climatic fluctuations within the Holocene. Palaeolimnological data from the sediments allow us to reconstruct how the lake ecosystem has followed those fluctuations. Different proxies may be use to approach the fluctuations in primary production, but all of them are based on the buried signal, a multi-proxy approach will eventually facilitate the interpretation of the fluctuations. Pigments from photosynthetic organisms are a good option, since they allow us to address not only fluctuations in the total amount of phytoplankton, but also the relative changes between main groups. In Fig. 7, the fluxes of some pigments are shown for Lake Redo (Buchaca, 1998). The smoothness of the fluctuations throughout most the Holocene is a major feature of this signature. Productivity was apparently higher in an early phase of the lake, and then in turned less productive until 2000 yr BP, when productivity increased again, and particularly its fluctuation. These main features were also confirmed by other proxies of productivity, such as total phosphorus deposition rates and total diatom fluxes.

The pattern observed should be the result of the lake coupling with the catchment biogeochemistry. Assuming phosphorus as the driving element, the period from 10,000 yr BP up to 2,000 yr BP likely reflects the increase with lime of the P sorption potential in the catchment. New inputs of phosphorus into terrestrial ecosystems come mainly from weathering of minerals. This is small relative to the annual internal cycle between soil and vegetation, and will decline as the soil profile develops (Aber & Melillo, 1991). On the other hand, iron and aluminium resulting from weathering may increase the sorption capacity through time as well, causing leaching losses of this element from soils being minimal. The pattern observed can be seen as an early phase (10,000 - 8,000 yr BP) of higher phosphorus loading to the lake because of soil development, or higher weathering and thereafter, a very stable external loading with lake productivity mainly based on internal loading from the sediments. Interestingly, the observed changes in productivity are loosely related to climate fluctuations. Although the initial productive part of the record ended at the dry and cold event around 8,200 yr BP, the main temperature fluctuation within Holocene in the Pyreneess, other relevant climatic fluctuations did not significantly affect the lake productivity; particularly, there was no response to the dramatic drop in precipitation that look place around (4,500 yr BP) and caused the drying of the Saharan savannah plains.

The sudden increase in mean productivity and particularly in the magnitude of the fluctuations from 2,000 yr BP up to present, could be interpreted mainly as a consequence of a disturbance in the catchment soil and, thus, in the external nutrient loading. Although the catchment of mountain lakes did not suffer any severe human impact, the low use for sheep pasturing to which they are submitted in some case, such in Lake Redo, might be sufficient to modify the phosphorus leaching from the catchment, and thus the lake productivity.

The magnitude of total lake primary production might have fluctuated little throughout the Holocene, but it should not necessarily be the case for primary producer

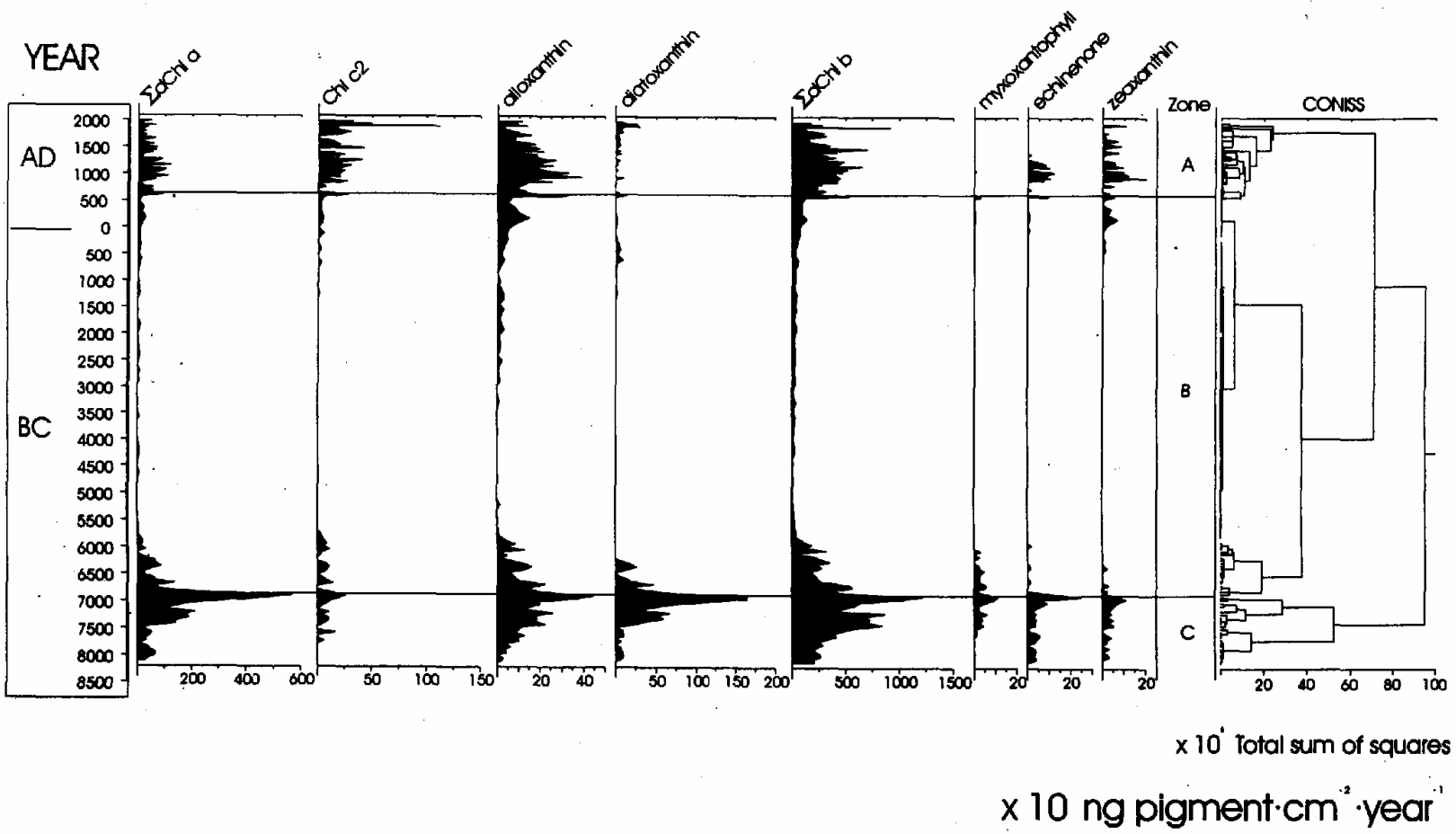


Fig. 7 - Sediment record along the Holocene of some indicative subfossil pigments in Lake Redó. ΣdChl a, chlorophyll a derivative, indicative of bulk algal production; Chl c2, chlorophyll c2, indicative of golden algae (chrysophytes and diatoms); alloxanthin, indicative of cryptophytes, ΣdChl b, chlorophyll b derivative, indicative of chlorophytes; myxoxantophyll, echinenone and zeaxanthin, indicative of cyanobacteria. The dendrogram indicates a restricted cluster analyses (CONISS) to show up the main zones within the record (Buchaca, 1998).

composition. Functionality is often linked to species composition, but there is limited knowledge of how this relationship is established, and its flexibility within an ecosystem (Levin, 1999). If we look at the microfossil record of some primary producers (diatoms and chrysophycean cysts) from the same core of the pigment record (Fig. 8), it appears that the fluctuations in species were much larger than fluctuations in productivity. For instance, the 4,500 yr BP climatic change is reflected in a significant change in both diatom and chrysophyte assemblages. Therefore, it suggests that the major biogeochemical organisation of the lake's productivity and its link with the catchment is quite stable to some climate fluctuations, but that communities rearrange according to the climate-induced modification in proximal conditions, such as temperature, alkalinity, pH, etc. This is in favour of a view in evolutionary ecology, which considers conditions (non denso-dependent environmental factors) more relevant than resources (denso-dependent environmental factors) for habitat partition and, thus, niche shaping (Capblancq & Catalan, 1994).

7. CONCLUSIONS

In a time-scaled view of primary production, it is necessary to introduce a scheme allowing for down-scaling the constraints and up-scaling the responses. Because of their relatively small catchments, and their location on usually crystalline bedrocks, mountain lakes tend to be very oligotrophic. Furthermore, periodic complete mixing and well oxygenated waters during most of the year determines that a large proportion of the sedimented phosphorus is permanently stored in the sediment. At the end, low external loading and high sediment Storage determines that these lakes are extremely deficient in phosphorus compared with nitrogen (Catalan *et al.,* 1993; Catalan *et al*., 1994), which has an atmospheric loading (higher since industrialisation) (Camarero & Catalan, 1996) and is hardly retained in the sediments. The pathways of phosphorus are the key aspect to look at in trying to understand the variability of primary production in those lakes from a biogeochemical point of view.

The phosphorus cycling System of a lake can be conceptually summarised as a hierarchy of reservoirs where quasi-steady-states are reached at each level between two reservoirs of contrasting renewal lime and pools (Fig. 9). A small and fast-turning reservoir and a large reservoir with slower turnover. The same structure repeats within each compartment, thus the phosphorus cycling has a sort of fractal organisation. At the whole lake level, the two compartments are the water column pool and the active sediment reservoir. Within the water column, the dissolved and particulate fractions represent the fast and the slow turnover pools, each one again with a fast (soluble reactive phosphorus, and intracellular active phosphorus, respectively) and a slow reservoir (non-reactive dissolved phosphorus, and polyphosphate store, respectively). The turnover and magnitude of those reservoirs determine that they have implications at different time scales.

On the other hand, the ecological issues of interest are-not only those related with the biogeochemical approach that pay particular attention to matter fluxes (carbon, nutrients, gases); but also those related with a population approach that deal with the growth and dynamics of different species.

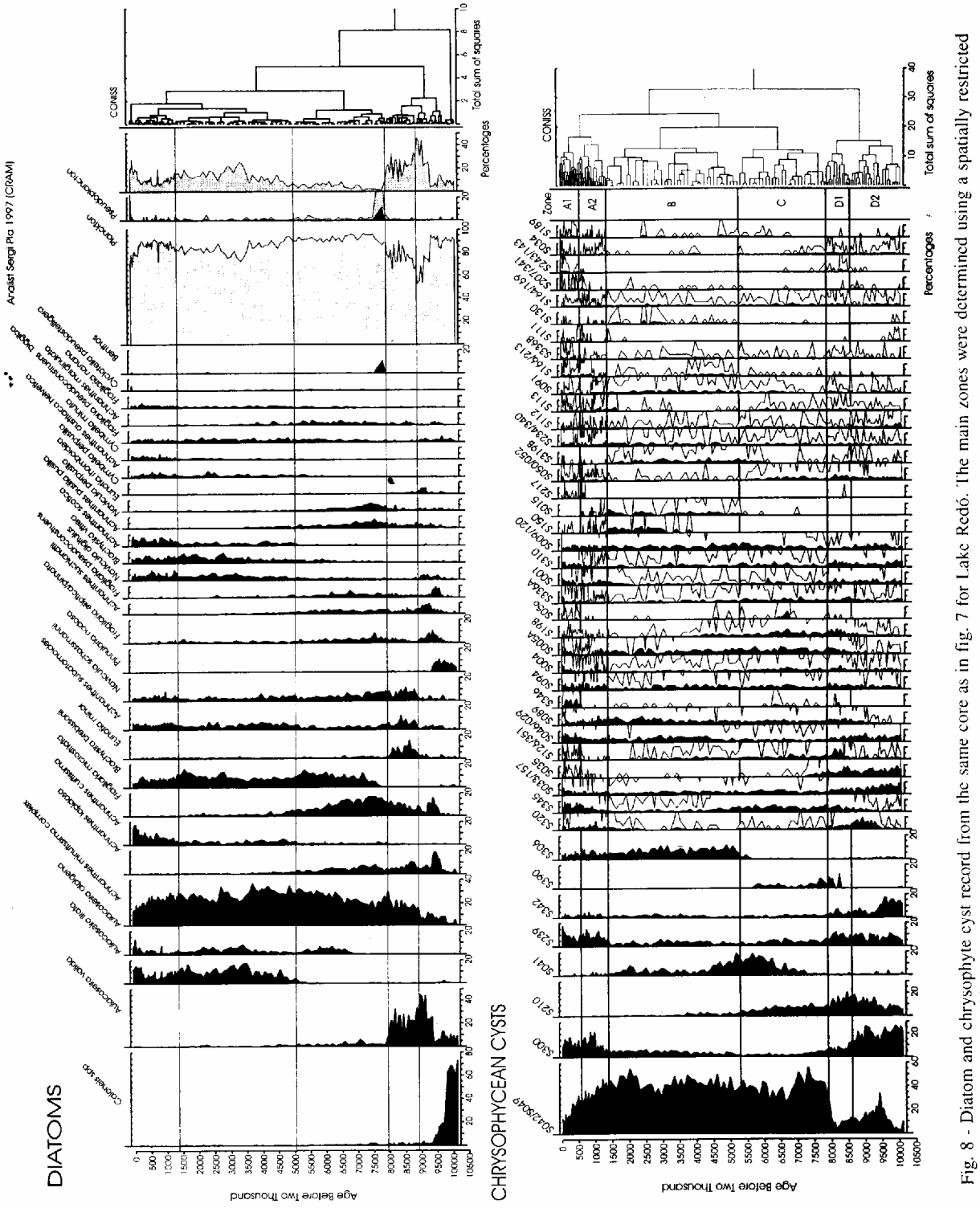


Fig. 8 - Diatom and chrysophyte cyst record from the same core as in fig. 7 for Lake Redó. The main zones were determined using a spatially restricted cluster analyses (Pla, 1999)

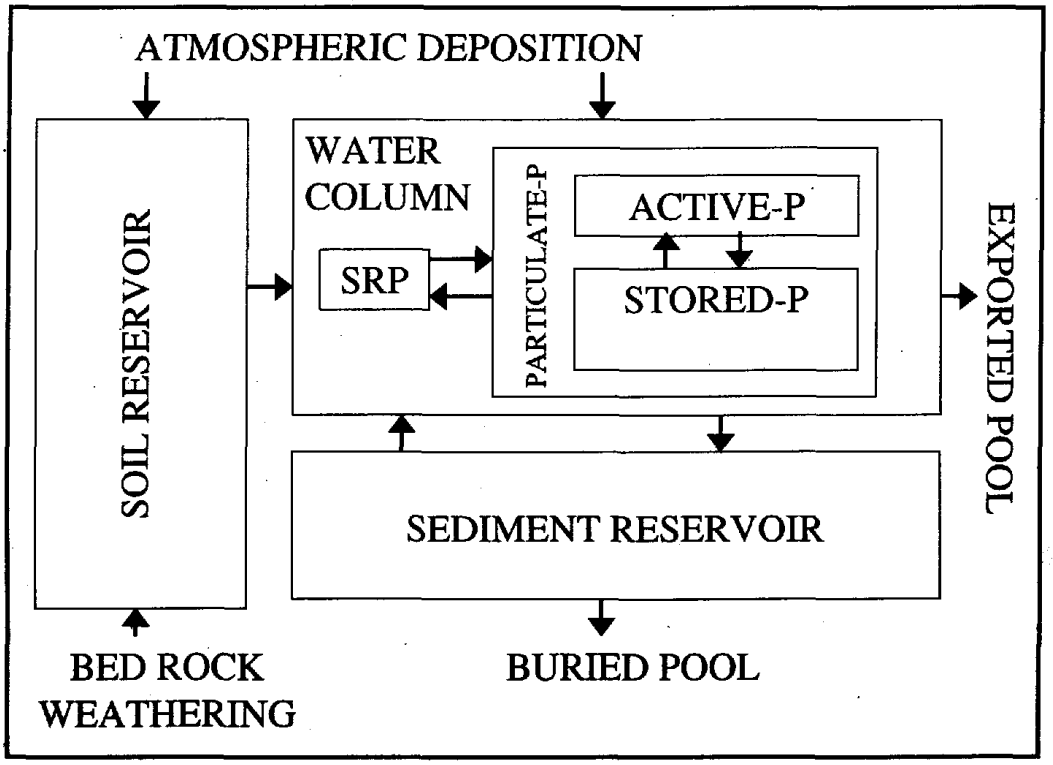


Fig. 9 - Diagram showing the main pathways for phosphorus in a mountain lake. The smaller the reservoir, the higher its renewal rate.

Tab. 2 - Most relevant forcing factors and ecological features at different time scales in high-mountain lakes little affected by atmospheric pollution. The ecological features are grouped into biogeochemical and population related topics.

TIME SCALE	FORCING FACTOR	ECOLOGICAL FEATURES OF INTEREST	
		BIOGEOCHEMICAL	POPULATION
Decades-Centuries	Climate fluctuations	Lake coupling with catchment biogeochemistry	Changes in species and adaptive processes
A few years	Interannual weather fluctuations	Variability in seasonal productivity patterns	Fluctuations in community composition
Weeks-Years	Weather controlled internal transport	Biogeochemical cycling	Survival strategies
Day-Weeks	Within community interactions	Loss and *in situ* recycling rates	Food-web configuration
Hours-Days	Proximal environment (temperature, nutrients, average light field)	Biomass production	Growth rates
Minutes-Hours	Instantaneous light field	Photoacclimation	Species migration behaviour

In Tab. 2, I summarise the ecological issues for these two approaches that are relevant at different scales, according to the observations related in the previous sections. Photoacclimation or how to deal with an excess of light and radiation is the central issue at scales of minutes to hours, in this oligotrophic environment surplus of energy and carbon resources respect other nutrients is a key aspect in understanding the physiological behaviour of phytoplankton. How finally this constrain can be solved will determine the biomass increase and differential growth rates between species. Here, a central aspect that should be further investigated is the apparent high frequency of maximum growth rates, indicating a strong coupling of recycling and uptake processes within the plankton community, at scales of days to few weeks. Seasonal weather fluctuations control internal loading from the sediments, being the agent that substantially changes the biomass of primary producers and stimulates the appearance of different survival strategies to deal with the unfavourable periods for a given species. Interannual fluctuations in primary production arises from variability in the seasonal productivity patterns; however, this variability is relatively smooth when regarded at lime scales of centuries, unless disturbances in the catchment, and thus in the phosphorus external loading occur. While catchment and lake reach a quasi-steady state concerning phosphorus and total productivity at long time scales, relatively independent of the changes occurring, species composition is permanently rearranged following changes in factors (temperature, pH, etc.) that climate fluctuations also induce.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to acknowledge to the Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, the invitation to participate in its 1998 annual meeting, which allowed me to prepare this overview. I am very thankful to the colleagues who have collaborated in the studies of primary production in lake Redo along the last fifteen years, particularly Lluís Camarero, Marisol Felip, Sergi Pla, Silvana Halac, Marc Ventura, Teresa Buchaca, Jaume Piera and Frederic Bartumeus.

REFERENCES

Aber J.D. & Melillo J.M. 1991. Terrestrial ecosystems. Saunders College Publishing. Philadelphia.

Buchaca T. 1998. Bis pigments dels organismes fotosintétics en paleolimnologia. Problemàtica analítica i interpretativa. Diploma thesis. University of Barcelona. Barcelona.

Camarero L & Catalan J. 1996. Variability in the chemistry of precipitation in the Pyrenees (northeastern Spain): dominance of storm origin and Jack of altitude influence. *J. Geophys. Res.,* 101: 29491-29498.

Camarero L., Felip M., Ventura M., Bartomeus F. & Catalan J. 1999. The relative importance of the planktonic food web in the carbon cycle of an oligotrophic mountain lake in a poorly vegetated catchment (Redo, Pyrenees). *J. Limnol.,* 58: 203-212.

Capblancq J. & Calalan J. 1994. Phytoplankton: which and how much? In: Limnology now, a paradigm of planetary problems (Margalef R. ed.), Elsevier. Amsterdam: 9-36

Catalan J. 1987. Limnologia de l'Estany Redó (Pirineu Central). El sistema pelàgic d'un llac profund d'alta muntanya. Ph. D. Thesis. University of Barcelona. Barcelona.

Catalan J. 1988. Physical properties of the environment relevant to the pelagic ecosystem dynamics of a deep high-mountain lake (Estany Redo, Central Pyrenees). *Oecologia aquatica, 9:* 89-123.

Catalan J. 1989. The winter cover of a high-mountain mediterranean lake (Estany Redó, Pyrenees). *Water Resour. Res.,* 25: 519-527.

Catalan J. 1991. The relationship between the functional anatomy of lakes and primary production. *Oecol. aquat.,* 10: 77-94.

Catalan J. 1992. Evolution of dissolved and particulate matter during the ice-covered period in a deep high-mountain lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* 49: 945-955.

Catalan J., Ballesteros E., Gacia E., Palau A. & Camarero L. 1993. Chemical composition of disturbed and undisturbed high-mountain lakes in the Pyrenees: a reference for acidified sites. *Water Res.,* 27: 133-141,

Catalan J. & Camarero L. 1991. Ergoclines and biological processes in high-mountain lakes: similarities between the summer stratification and the ice-forming period in lake Redo (Pyrenees). *Verh. int. Ver. Limnol,* 24: 1011-1015.

Catalan J. & Camarero L. 1993. Seasonal changes in alkalinity and pH in two Pyrenean lakes of very different water residence lime. *Verh. int. Ver. Limnol., 25:* 749-753.

Catalan J., Camarero L., Gacia E., Ballesteros E. & Felip M. 1994. Nitrogen in the Pyrenean lakes. *Hydrobiologia,* 274: 17-27.

Catalan J. & Fee E. 1994. Interannual variability in limnic systems: origin, patterns and predictability. In: Limnology now, a paradigm of planetary problems (Margalef R. ed.), Elsevier. Amsterdam: 81-97..

Catalan J.. Pia S., Ricradevall M., Felip M., Ventura M., Buchaca T., Camarero L., Brancelj A., Appleby P.G., Lami A., Grytnes J.A., Agusti-Panareda A. & Thompson R. (in press). Lake Redó ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century. *J. Paleolimnol.*

Donato J.C. 1997. Fitoplancton de los lagos andinos del Norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Ph. D. thesis. University of Barcelona. Barcelona.

Felip M. 1997. Ecologia del microplàncton d'un estany profund d'alta muntanya (Redó, Pirineus). Ph. D. Thesis. University of Barcelona. Barcelona.

Felip M., Bartorneus F., Halac S. & Catalan J. 1999. Microbial plankton assamblages, composition and biomass, during two ice-free periods in a deep high-mountain lake (estany Redó, Pyrenees).,*J. Limnol.,* 58: 203-212.

Felip M., Camarero L. & Catalan J. 1999. Temporal changes of microbial assemblages in the ice and snow cover of a high mountain lake. *Limnol. Oceanogr.* ,44: 1-15

Felip M.. & Catalan J. 2000. The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima..*J. Plankton Res.,* 22: 91-105.

Felip M., Sattler B., Psenner R. & Catalan J. 1995. Highly active microbial communi-

ties in the ice and snow cover of high mountain lakes. *Appl. Environ. Microbiol.,* 61:2394-2401.

Halac S., Felip M., Camarero L., Sommaruga-Wògrath S., Psenner R., Catalan J. & Sommaruga R. 1997 An in situ enclosure experiment to test the solar UVE impact on plankton in a high-altitude mountain lake. I. Lack of effect on phytoplankton species composition and growth. *J. Plankton Res.,* 19: 1671-1686.

Hudson J.J., Taylor W.D. & Schindler D.W. 1999. Planktonic nutrient regeneration and cycling efficiency in temperate lakes. *Nature,* 400: 659-661.

Imberger J. 1994. Transport in lakes: a review. In: Limnology now, a paradigm of planetary problems (Margalef R. ed.), Elsevier. Amsterdam: 99-193.

Jumars P.A., Deming J.W., Hill P.S., Karp-Boss L., Yager P.L., & Dade W.B. 1993. Physical constraints on marine osmotrophy in an optimal foraging context. *Marine Microbial Food Webs,* 7*:* 121-159.

Laurion I., M. Ventura J., Catalan R,. Psenner & R. Sommaruga. (in press). Attenuation of ultraviolet radiation in mountain lakes: factors controlling the among- and within-lake variability. *Limnol. Oceanogr.*

Levin S. 1999. Fragile dominion: complexity and the commons. Helix. Reading.

O'Neill R.V., De Angelis D.L., Waide J.B. & Allen T.F.H. 1986. A hierarchical concept of ecosystems. Princeton University Press. Princeton.

OdumE.P. 1971. Fundamentals of Ecology. Saunders. Philadelphia.

Pechlaner R. 1971. Factors that control the production rate and biomass of phyto-plankton in high-mountain lakes. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 19: 125-145.

Pina S., Creus A., Gonzàlez N., Gironés R., Felip M.M & Sommaruga R. 1998. Abundance, morphology and distribution of planktonic virus-like particles in two high-mountain lakes. *J. Plankton Res.,* 20(12): 2413-2421

Pla S. 1999. Chrysophycean cyst from the Pyrenees and their applicability as paleoenvi-ronmental indicators. Ph. D. Thesis. University of Barcelona. Barcelona.

Psenner R. & Catalan J. 1994. Chemical composition of lakes in crystalline basins: a combination of atmospheric deposition, geologic background, biological activity, and human action. In: Limnology now, a paradigm of planetary problems (Margalef R. ed.), Elsevier. Amsterdam: 255-314

Raven J.A. 1997. Phagotrophy in phototrophs. *Limnol. Oceanogr.,* 42: 198-205.

Reynolds C.S. 1989. Physical determinants of phytoplankton succession. In: Plankton ecology (Sommer U. ed.), Brock-Springer. Madison.

Reynolds C.S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Ecology Institute. Oldendorf/Luhe.

Rodhe W. 1962. Sulla produzione di fitoplancton in laghi transparenti di alta montagna. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.,* 15: 21-28.

Sommaruga R. & Psenner R. 1997. Ultraviolet radiation in high mountain lakes of the Austrian Alps: air and underwater measurements *Photochem. Photobiol.,* 65: 957-963.

Ventura M., Camarero L., Buchaca T., Bartumeus F., Livingstone D. & Catalan J. (submitted). Main features of the seasonal variability of the external forcing and dynamics of a deep mountain lake (Redo, Pyrenees). *J. Limnol.*

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 23-32, luglio 2000

ANALISI DEI TRASPORTI DI FRESH WATER NEL SISTEMA COSTIERO ANCONETANO

Giorgio BUDILLON[1], Annalisa ORTONA[1], Elio PASCHINI[2]

[1] Istituto di Meteorologia e Oceanografia - IUN, Napoli
[2] Istituto di Ricerche sulla Pesca Marittima - CNR, Ancona

ABSTRACT

In this work a simple methodology has been employed to evaluate fresh water fluxes between the northern and central Adriatic basins, in the coastal area outside Ancona town, using hydrological and currentmeter data acquired in the framework of the PRISMA-2 program. Results, referred to different four seasons in a two year frametime, give a mean fresh water transport ranging between a minumum of 800 m^3s^{-1} (spring 1998) and a maximum 2740 m^3 s^{-1} (autumn 1997).

We found a good correlation between fresh water transports and current data, and low correlation with the Po river outflow then the variability of the fresh water transports could be driven by other forcings of the Adriatic general circulation.

RIASSUNTO

In questo lavoro è utilizzata una semplice metodologia per la stima dei flussi di *fresh water* tra il bacino settentrionale e centrale dell'Adriatico utilizzando i dati idrologici e correntometrici acquisiti, nell'ambito del progetto PRISMA-2, nel tratto di mare a largo della città di Ancona. I risultati, relativi a quattro diverse stagioni nell'arco di circa 2 anni, forniscono stime di trasporti di *fresh -water* con valori medi variabili tra il minimo di 800 m^3 s^{-1} (primavera 1998) ed il massimo di 2740 m^3 s^{-1} (autunno 1997).

La forte correlazione con le misure correntometriche e la bassa relazione con i trasporti del Po porta a concludere che gli scambi di *fresh water* tra il bacino settentrionale e quello centrale sono probabilmente guidati da altri fattori legati alla dinamica generale dell'Adriatico.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, la zona costiera a largo di Ancona è stata intensamente studiata nell'ambito di un progetto nazionale denominato PRISMA-2 (Programma di Ricerca e Sperimentazione per il Mare Adriatico) durante il quale sono state condotte quattro campagne stagionali nell'arco di 24 mesi tra l'estate 1996 e la primavera 1998. In ciascuna campagna, costituita da numerosi leg di circa 2-3 giorni ognuno, è stata acquisita una notevole mole di dati oceanografici di carattere fisico, geo-chimico e biologico (Artegiani *et al.,* 1999a e 1999b). L'area investigata è di particolare interesse

in quanto caratterizzata dalla presenza di una zona frontale che delimita le acque dolci costiere da quelle di mare aperto, determinando due sistemi con comportamenti distinti sia per la distribuzione dei parametri oceanografici, sia per le differenti scale spazio-temporali dei moti caratteristici.

Il trasporto associato a questa zona trasferisce anche le acque più dolci che, originatesi a causa del contributo dei fiumi nel settore settentrionale dell'Adriatico, contengono alte concentrazioni di sostanze biochimiche e sono caratterizzate da una pronunciata variabilità stagionale. Le forzanti che determinano l'entità di questi trasporti ed i processi di mixing che ne modificano le caratteristiche giocano quindi un ruolo determinante nel bilancio idrologico dell'Adriatico Settentrionale (Artegiani *et al.,* 1989; 1997a; 1997b; Zavatarelli *et al.,* 1998).

In questo lavoro si è voluto fornire una prima stima di quanto il sistema costiero anconetano trasporta dal bacino settentrionale a quello centrale, utilizzando i dati acquisiti nell'ambito delle diverse campagne svolte dal progetto PRISMA-2 (Sottoprogetto 1 - Oceanografia fisica, chimica e biologica).

La stima dei flussi è stata effettuata integrando le informazioni idrologiche (campo termoalino) con quelle correntometriche applicando quindi il classico metodo indiretto per la determinazione della componente baroclina e risolvendo l'indeterminazione intrinseca del metodo, prendendo come riferimento le misure correntometriche contemporaneamente acquisite nell'area di studio in diverse posizioni.

2. MATERIALI E METODI

L'area di studio è evidenziata in Fig.l; la scelta del reticolo di campionamento, della profondità e della frequenza dei prelievi è stata operata in base alle conoscenze pregresse sul fronte termoalino e della sua tipica estensione e variabilità.

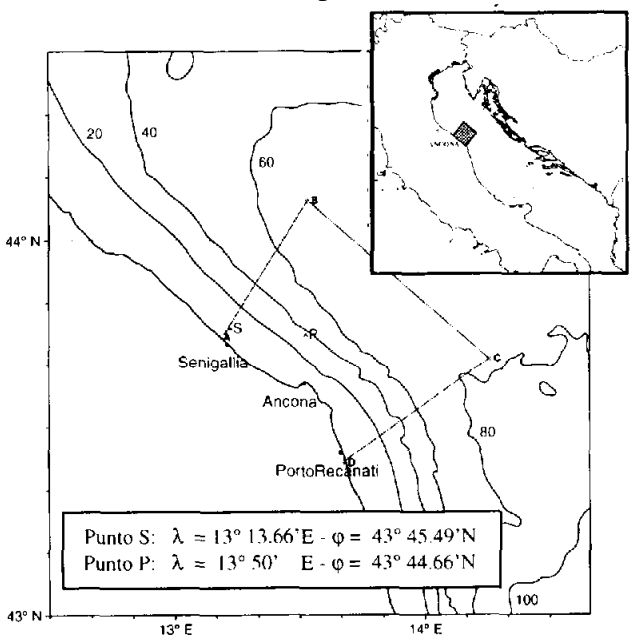


Fig. 1 - Area di studio e posizione delle stazioni correntometriche (S e P).

Dall'estate del 1996 alla primavera del 1998 sono state effettuate quattro campagne oceanografiche al largo d'Ancona, a bordo delle imbarcazioni Ciprea, Thetis e Coopernaut Franca Le misure sono state organizzate lungo transetti ortogonali alla costa (quindi perpendicolari ai flussi medi di corrente che interessano quest'area) e di lunghezza tale da campionare sia le acque dolci costiere sia quelle di mare aperto.

I dati idrologici, acquisiti con una sonda multiparametrica (CTD, Sea-bird Electronics mod. 9/11 plus) su tutta la colonna d'acqua, hanno subito un post-processing per la rimozione d'eventuali dati spuri e successivamente sono stati filtrati e mediati ogni 0.5 dbar (Artegiani *et al.,* 1999a e 1999b). Le grandezze derivate (salinità e densità) sono state calcolate con algoritmi standard.

Contemporaneamente alle misure idrologiche sono state acquisite informazioni dinamiche utilizzando tre strumenti opportunamente posizionati in due diverse aree: un correntometro in prossimità della costa, su 12 m di fondale alla profondità nominale di circa 5 m (punto S, Fig. 1), due più a largo (40 m) posti a 5 e 18 m di profondità (punto P, Fig. 1). Questi strumenti (Aanderaa RCM 7), hanno funzionato in maniera discontinua e quindi non sempre è stato possibile trattare contemporaneamente le tre serie temporali.

Le alte frequenze (maree e oscillazioni inerziali) sono state eliminate applicando un filtro a passa basso alle medie orarie acquisite dai correntometri con una frequenza di taglio pari a 96 ore. Il data set così ottenuto è stato utilizzato per le successive elaborazioni per il calcolo dei trasporti.

Nello stato stazionario, l'immissione d'acqua dolce proveniente dai fiumi, deve bilanciare quella che si è mescolata con l'acqua esterna; nelle stime effettuate all'interno di questo lavoro, non si è tenuto conto della componente diffusiva, assunta trascurabile, ma solo di quella avvettiva (es. Bowden, 1983).

Le stime dei trasporti relative alla campagna estiva e autunnale (I e III campagna rispettivamente) sono state effettuate utilizzando dati registrati dai due correntometri posti in superficie: Per le campagne invernale e primaverile (II e IV rispettivamente) è stato possibile utilizzare il solo correntometro posto sotto costa vicino Senigallia (punto S), poiché, per avaria strumentale, non erano disponibili dati correntomètrici più al largo. Quest'approssimazione non compromette sostanzialmente i risultati, perché il flusso costiero a bassa salinità, è confinato in un'area ben campionata dal correntometro costiero (Cap.5).

Le concentrazioni d'acqua dolce e le velocità stimate con il metodo geostrofico sono state interpolate su una griglia regolare utilizzando il metodo del kriging con una risoluzione di 1 km orizzontalmente e due metri verticalmente. Nella procedura di interpolazione i dati sono stati normalizzati utilizzando un rapporto anisotropico di 500. La matrice dei trasporti è stata ottenuta moltiplicando i corrispondenti elementi delle matrici di velocità e concentrazioni di *fresh water.*

3. IDROLOGIA

In Fig. 2 sono riportati i diagrammi T/S relativi alle 4 campagne considerate che forniscono un'indicazione dell'evoluzione delle condizioni termoaline durante il

periodo di misura. Durante la prima campagna (agosto-settembre 1996) è evidente dalla Fig. 2a il progressivo raffreddamento dello strato superficiale con bassi valori di salinità che è separato da un netto termoclino dallo strato più profondo ed a salinità maggiore derivato dalla modifica delle acque di origine levantina (MLIW).

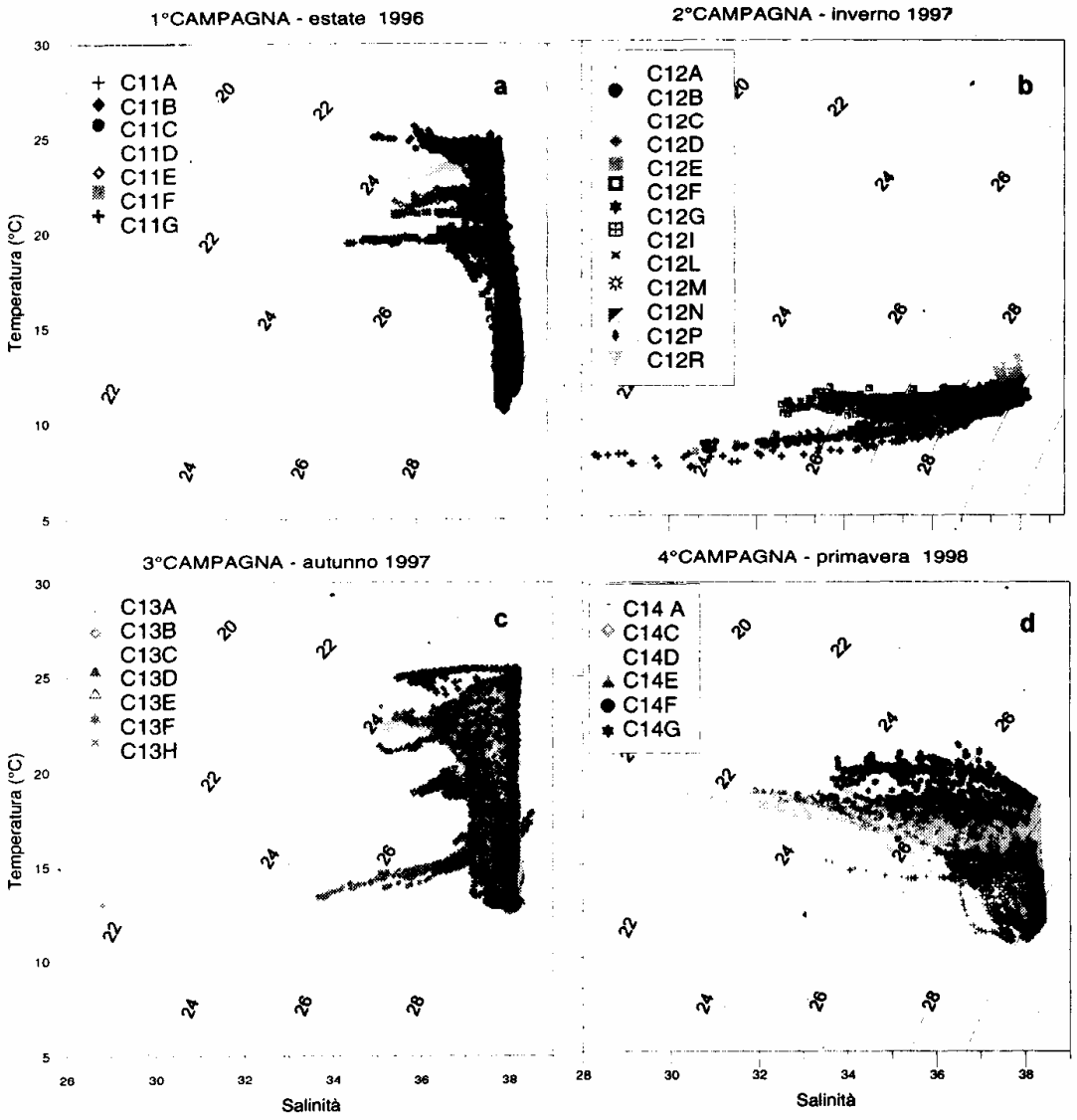


Fig. 2 - Diagrammi T/S delle quattro campagne

I valori massimi di densità (σ_t > 29.2) identificano, in prossimità del fondo, la North Adriatic Deep Water (NAdDW) con temperature di circa 10.6 °C e salinità pari a 38.04. Il diagramma T/S della seconda campagna, svolta tra febbraio-aprile 1997 (Fig. 2b), mostra una notevole differenza della composizione della colonna d'acqua a causa dell'assenza della stratificazione termica verticale. Durante tutto il periodo investigato la colonna d'acqua conserva sostanzialmente le proprietà termiche, evidenziando inoltre una notevole presenza delle acque superficiali a bassa salinità. Nel periodo iniziale (febbraio), infatti, si riscontrano i valori minimi di salinità (S < 29.0) e conseguentemente di densità (σ_t < 23.0). I primi segnali di riscaldamento della colonna d'acqua sono rilevati durante l'ultimo leg della campagna (aprile) in cui sono registrati i valori massimi di temperatura (T ≈ 12.5 °C). Da notare inoltre la quasi assenza della MLIW in questo periodo che conferma l'alta variabilità associata a questa massa d'acqua (Artegiani *et al,* 1997a).

In Fig. 2c è rappresentato il diagramma T/S della terza campagna svolta tra settembre-novembre 1997; è ben evidente il cambiamento della colonna d'acqua da una struttura stratificata tipicamente estiva ad una omogenea invernale. Il passaggio è evidente soprattutto a novembre (ultimi due leg) quando lo strato superficiale subisce un repentino raffreddamento raggiungendo temperature di circa 13.0-14.0 °C avvicinandosi ai valori delle acque più profonde. Lo strato superficiale mostra una modesta diluizione rispetto alle precedenti misure svolte nel periodo invernale.

Il T/S dell'ultima campagna (Fig. 2d) infine, mostra il progressivo riscaldamento della massa d'acqua ripercorrendo sostanzialmente il processo inverso di quello appena descritto. Analizzando i valori di salinità (S ≈ 38.5) si nota abbastanza chiaramente la presenza della MLIW, mentre da quelli di densità (σ_t >29.2) si evidenzia l'acqua più densa e più fredda (T ≈ 11 °C) proveniente dall'Adriatico Settentrionale.

4. DINAMICA

Nella Fig. 3 sono riportate le serie temporali orarie filtrate con un passa-basso con $f_c = 96^h$ relative alla componente longshore della corrente, posta convenzionalmente positiva con direzione nord-ovest.

Tab. 1 - Valori medi della componente longshore della corrente (cm s^{-1}).

Campagna	Periodo	Senig: Sup. (cm s^{-1})		Api Sup. (cm s^{-1})		Api Int. (cm s^{-1})	
		media	dev.st	media	dev.st	media	dev.st
I	2 agosto – 2 ottobre 1996	-2.6	9.2				
	27 agosto – 2 ottobre 1996			-7.1	9.0	-8.5	11.5
II	12 febbraio – 3 aprile 1997	-4.6	10.0				
III	1 settembre – 3 dicembre 1997			-9.3	9.6		
	5 settembre – 10 novembre 1997	-8.1	8.5				
IV	15 aprile – 5 giugno 1998			-4.8	4.1		

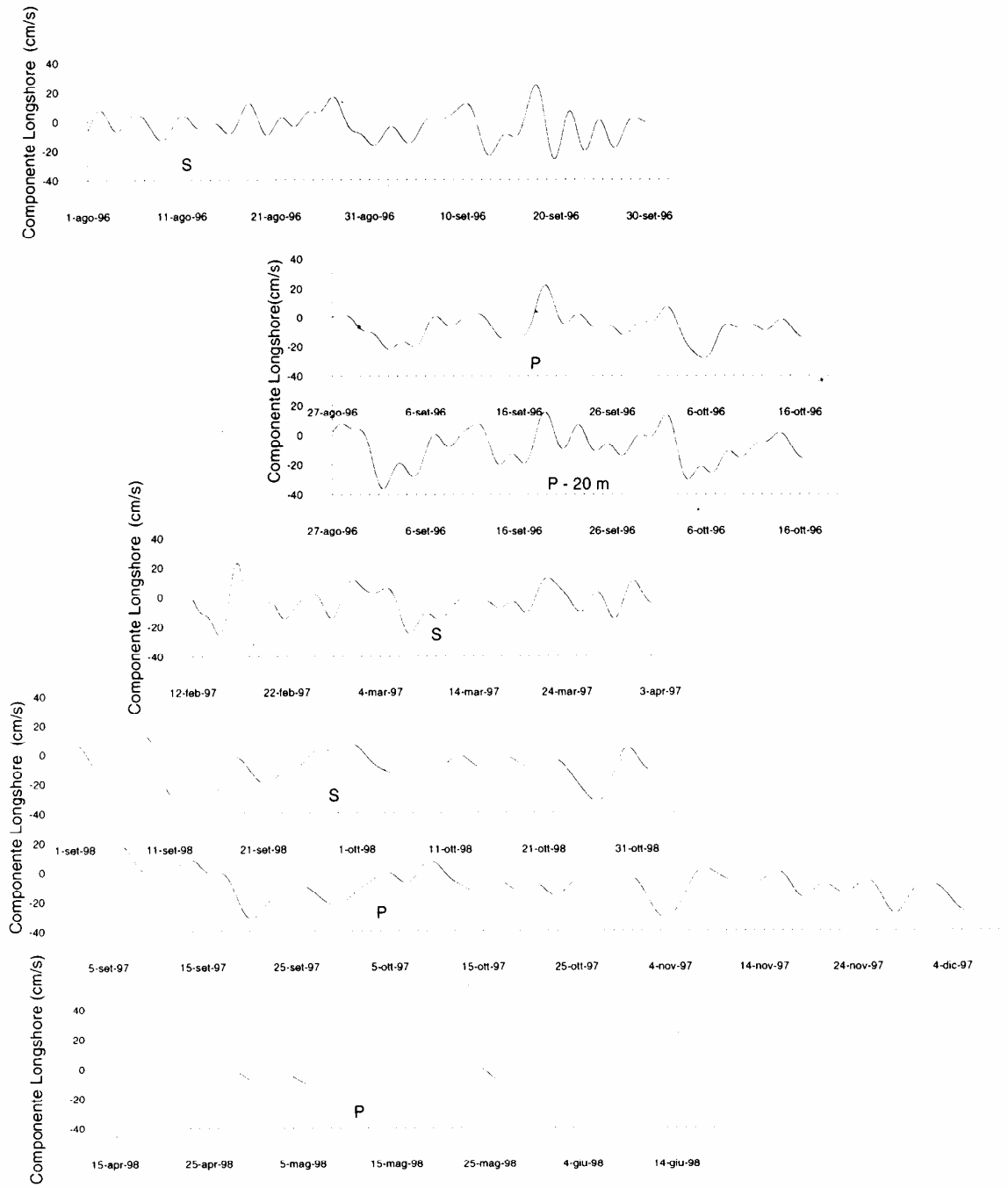


Fig. 3 - Componenete longshore della corrente misurata a largo di Ancona nei siti S e P; valori medi filtrati con passa-basso (Fc = 96^h).

Le registrazioni mostrano numerose oscillazioni, con periodo maggiore di quello di taglio, che producono frequenti inversioni rispetto alla direzione media. In tabella I sono riassunti i valori medi delle componenti longhsore durante i quattro periodi di misura. Al largo queste componenti mostrano mediamente valori maggiori rispetto a quelle misurate sotto costa a causa della maggiore importanza degli attriti in acque basse. Risulta evidente (Fig. 3 e Tab. I) che solo nel periodo primaverile (IV campagna) le correnti costiere hanno evidenziato una minore variabilità.

5. RISULTATI

I risultati dei trasporti di *fresh water* per le quattro campagne esaminate sono riportati in Fig. 4, unitamente con l'andamento medio giornaliero della portata del fiume Po, che rappresenta circa il 50% del contributo di tutti i fiumi nell'Adriatico Settentrionale (Raicich, 1994).

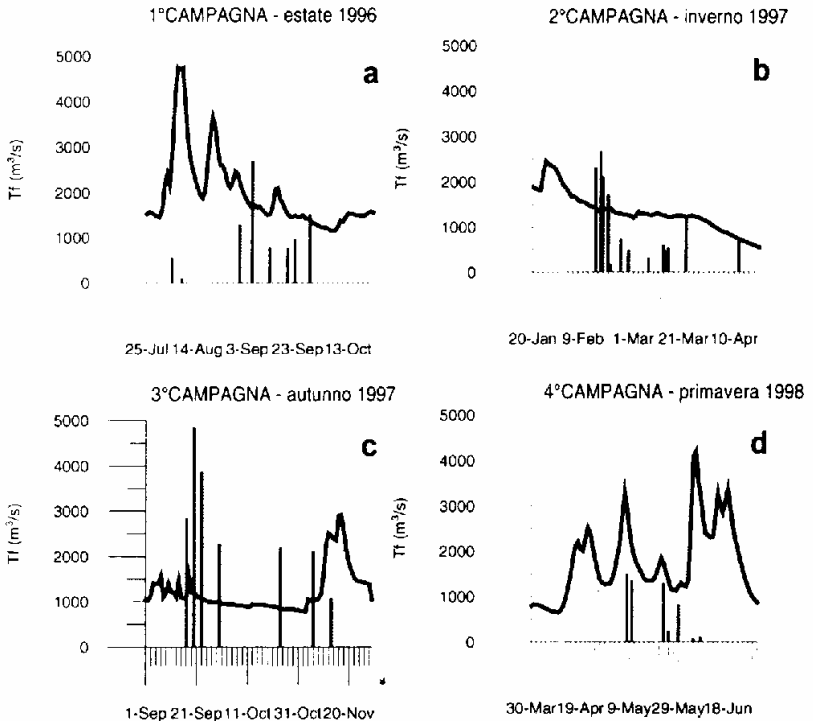


Fig. 4 - Trasporti di t'resh water (istogrammi) e portata del Po (linea continua) durante i 4 periodi di misura.

Pur avendo a disposizione dei dati parziali, che non coprono con continuità i vari periodi dell'anno, possiamo individuare alcune caratteristiche del trasporto di *fresh water* nell'area anconetana. In particolare il periodo autunnale (o tarda estate) sembra essere quello in cui si riscontrano i valori maggiori (Fig. 4c), anche se in questo periodo le portate del Po non sono particolarmente alte ($T_{PO} \approx 1100$ m^3 s^{-1}). I trasporti ottenuti durante la primavera 1998 (Fig. 4d) sono i più bassi registrati nelle quattro stagioni esaminate ($T_{FW} \approx 800$ m^3 s^{-1}), contemporanei a valori elevati di portata del Po ($T_{PO} \approx$

1800 m^3 s^{-1}). Nelle altre due stagioni esaminate, estate 1996 e inverno 1997 (Figg. 4a e 4b rispettivamente), i trasporti di *fresh water* sono sostanzialmente simili, in particolare, il valor medio è pari a 1200 m^3 s^{-1}, in estate, e 1080 m^3 s^{-1}, in inverno, pur notando nello stesso periodo portate del Po diverse. È interessante notare, come già osservato in precedenti lavori (Budillon *et al.,* 1998; Ortona, 1999), che, malgrado le velocità invernali siano maggiori di quelle estive, il trasporto di *fresh water* nei due periodi è simile (Fig. 3) poiché l'area interessata del flusso costiero in inverno è più piccola. .

Analizzando la correlazione tra i trasporti di *fresh water* e le correnti misurate dai correntometri nell'area anconetana, è evidente che la correlazione, pur considerando il limitato numero di misure, è abbastanza buona tranne che nel periodo estivo (Fig. 5) forse a causa dei valori bassi dei trasporti o comunque all'esiguo numero di dati a disposizione.

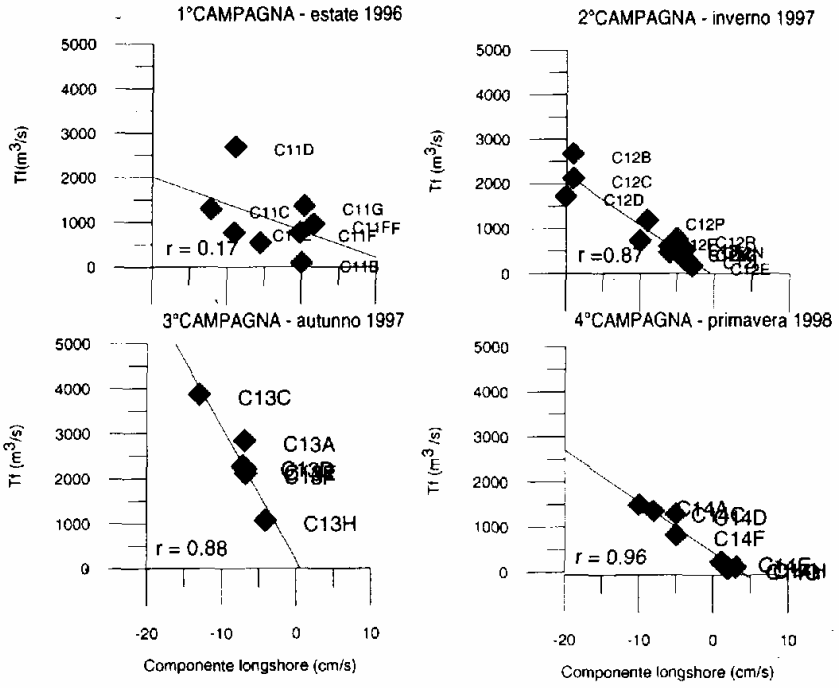


Fig.5 Regressione tra la componente longshore della corrente e il trasporto di fresh water

Analizzando le pendenze delle rette di regressione lineare calcolate (Fig. 5) si evince che nelle diverse stagioni "l'efficienza" del sistema costiero muta. In particolare, in occasione della III campagna, si ottengono valori maggiori di trasporto di *fresh water,* anche se le correnti misurate rimangono dello stesso ordine di grandezza rispetto agli altri periodi.

Nella fig. 6 sono mostrate le relazioni tra il flusso di *fresh water* e quello del Po relative alle diverse campagne; queste non mostrano alcuna correlazione significativa, ad eccezione del periodo estivo in cui r = 0.79. È abbastanza evidente come nel periodo invernale (II campagna) e autunnale (III campagna) la portata del Po rimane praticamente costante mentre i trasporti di *fresh water* mostrano un ampio range di oscillazione; accade il contrario per il periodo estivo-primaverile (1° e 4° campagna

rispettivamente) dove i trasporti di *fresh water* variano di poco, mentre il flusso del Po presenta un'ampia variazione, raggiungendo in alcuni casi (IV campagna) valori di ≈ 4000 m^3 s^{-1}

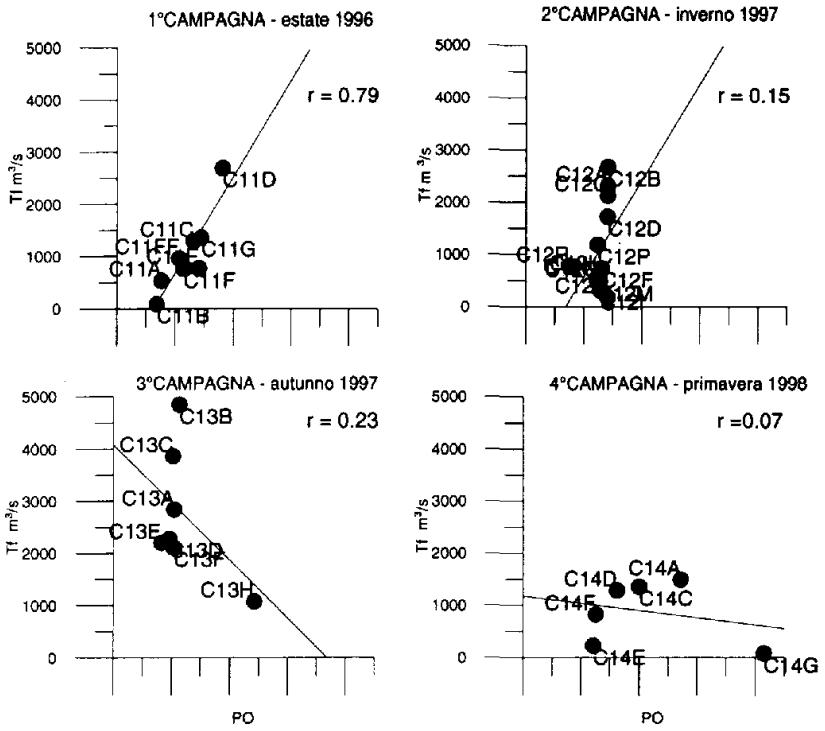


Fig.6 Regressione tra il trasporto del Po e quello di fresh water.

6. CONCLUSIONI

I valori dei trasporti di *fresh water* ottenuti in questo lavoro rappresentano una prima stima che consente di avanzare alcune possibili ipotesi sui meccanismi che regolano gli scambi tra il bacino settentrionale e centrale dell'Adriatico.

In particolare la correlazione esistente tra i flussi di *fresh water* e le misure correntometriche è generalmente buona, tranne nel periodo estivo quando non sempre ad elevati valori di velocità corrispondono alti valori dei trasporti.

I trasporti *di fresh water* mostrano valori minimi nella primavera del 1998 (800 m^3 s^{-1}) e massimi nell'autunno del 1997 (2700 m^3 s^{-1}) e sono quasi sempre per nulla correlati con le portate giornaliere simultanee del fiume Po. Questo porterebbe a concludere che le portate del Po non influiscono in maniera diretta sugli scambi di *fresh water* tra il settore settentrionale e quello centrale dell'Adriatico, probabilmente altri fattori legati alla dinamica generale del bacino hanno un ruolo più rilevante.

Maggiori indicazioni potranno essere ottenute esaminando le correlazioni esistenti tra i valori medi di concentrazione *di fresh water,* velocità della corrente e dell'area interessata dal trasporto costiero. Inoltre sarà opportuno correlare tali trasporti costieri con le portate del Po di periodi precedenti, in quanto è possibile ipotizzare che l'acqua

sversata dai fiumi prima si organizza in strutture dinamiche e poi è avvettata dalla circolazione di bacino lungo le coste italiane.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato realizzato con i fondi del progetto PRISMA-2, Sottoprogetto 1-Oceanografia Fisica, Chimica e Biologica del MURST (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica).

BIBLIOGRAFIA

Artegiani A., Azzolini R. & Salusti E. 1989. On the dense water in the Adriatic sea. *Ocean.Acta* 12: 151-160.

Artegiani A., Bregant D., Raschini E., Pinardi N., Raicich F. & Russo A. 1997a. The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air Sea General Circulation. *J. Phys. Ocean.,27:* 1492-1514.

Artegiani A., Bregant D., Raschini E., Pinardi N., Raicich F. & Russo A. 1997b. The Adriatic Sea. General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure. *J. Phys. Ocean.,27:* 1515-1532.

Artegiani A., Sansone E., Purini R., Antolini B., Bianco G., Budillon G., De Alteris A., De Stefano M., Falco P., Ficca G., Gallarato A., Moretti M., Pangia M., Pariante R., Raschini E., Russo A. & Simioli A. 1999. Condizioni oceanografiche della fascia costiera fra Senigallia e Porto Recanati nel periodo 3 agosto - 27 settembre 1996. 1° Tech. Rep. PRISMA seconda fase Sottoprogetto 1 Oceanografia Fisica, Chimica e Biologica.

Artegiani A., Sansone E., Purini R., Antolini B., Bianco G., Budillon G., De Alteris A., De Stefano M., Falco P., Ficca G., Gallarato A., Moretti M., Pangia M., Pariante R., Raschini E., Russo A. & Simioli A. 1999. Condizioni oceanografiche della fascia costiera fra Senigallia e Porto Recanati nel periodo 10 Febbraio - 10 Aprile 1997. 2° Tech. Rep. PRISMA seconda fase Sottoprogetto 1 Oceanografia Fisica, Chimica e Biologica.

Bowden K. F. 1983. Physical Oceanography of Coastal Water. Ellis Horwood Edition 207-218.

Budillon G., Moretti M., Sansone E. & Spezie G. 1998. Dynamics of a Mid-Adriatic coastal area. First experimental results. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.,* 35: 132-133.

Ortona A. 1999. Stima dei flussi biochimici nel sistema costiero anconetano. Tesi di Laurea in Scienze Ambientali, Istituto Universitario Navale, Napoli.

Raicich F. 1994. Note on the flow rates of the adriatic rivers. CNR. Istituto Talassografico di Trieste. *Tech. Rep.* RF 02/94.

Zavatarelli M., Raicich F., Bregant D. & Artegiani A. 1998. Climatological biogeochemical characteristics of the Adriatic sea. *J. Marine Sys.:* 1-37.

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 33-42, luglio 2000

PRIMI RISULTATI CODAR SULLE CORRENTI MARINE SUPERFICIALI NELL'AREA ANCONETANA

Giorgio BUDILLON[1], Elio PASCHINI[2], Aniello RUSSO[2], Alberico SIMIOLI[1]

[1]Istituto Universitario Navale di Napoli, Istituto di Meteorologia e Oceanografia
[2]Consiglio Nazionale .delle Ricerche, Istituto di Ricerche sulla Pesca Marittima, Ancona

ABSTRACT

A HF radar, CODAR (Coastal Ocean Dynamics Applications Radar), for the surface coastal current measurements has been used along the Ancona coast in the framework of PRISMA-2 (Programma di Ricerche per la Salvaguardia del Mare Adriatico) project.

The validation techniques (both with eulerian and lagrangian methods) and first experimental results are reported in this paper throughout three months of measurements.

The comparison between measurements acquired by a coastal current meter located at the depth of 5 m (at a bottom depth of 12 m) shows a good agreement with the CODAR time series particularly concerning the low frequencies; typically the current speed measured by the current meter is half of that measured on surface by the CODAR. The spectral analysis shows a propagation of the semidiurnal frequencies form NW to SE according to the propagation of a Kelvin wave theory.

An analysis of the mean kinetic energy reveals the typical dynamic of the surface layer as a results of a typical Bora wind forcing.

RIASSUNTO

Nell'ambito del Sottoprogetto 1 del programma nazionale PRISMA-2 (Programma di Ricerche per la Salvaguardia del Mare Adriatico), nel luglio 1997 è stato installato nell'area anconetana un radar costiero, CODAR (Coastal Ocean Dynamics Applications Radar), per la misura delle correnti superficiali marine.

In questo lavoro vengono presentati i primi risultati ottenuti durante le necessarie fasi di validazione e taratura (con metodologie lagrangiane ed euleriane) e dall'analisi dei primi tre mesi di funzionamento.

Il confronto con le serie temporali acquisite da un correntometro posto alla

profondità nominale di 5 m su 12 m di fondale, mostra una buona correlazione con i dati superficiali forniti dal CODAR, particolarmente per la bassa frequenza; l'intensità misurata dal correntometro a 5 m di profondità è tipicamente il 50% di quella rilevata in superficie dal CODAR. L'analisi spettrale tra vari punti mostra chiari segni di segnali di frequenza semidiurna che si propagano da NW verso SE, in accordo con il modello di propagazione di un'onda di Kelvin.

Una valutazione dell'energia cinetica media dell'area mostra chiaramente l'evoluzione dello strato superficiale in seguito ad un tipico forzamento eolico da NE (Bora).

1. INTRODUZIONE

Il Sottoprogetto 1 del- programma PRISMA-2 ha tra gli obiettivi finali quello di valutare nell'area Anconetana (Fig. 1) i trasporti di massa e di acqua dolce proveniente dall'alto Adriatico e l'eventuale ricircolo operato nell'area costiera da strutture a mesoscala e/o dal rimescolamento trasversale alla costa.

Essendo la dinamica costiera dell'Adriatico Settentrionale caratterizzata da correnti di alta frequenza (maree con periodo semidiurno e diurno, oscillazioni inerziali di circa 18 ore che nel complesso non sono associate ai trasporti che si vogliono determinare) e da correnti più stabili di bassa frequenza (periodo da 2.5 a oltre 10 giorni), è necessario disporre di misure che, coprendo adeguatamente tutta l'area, siano campionate con una frequenza ed una durata tali da consentire la separazione delle varie componenti.

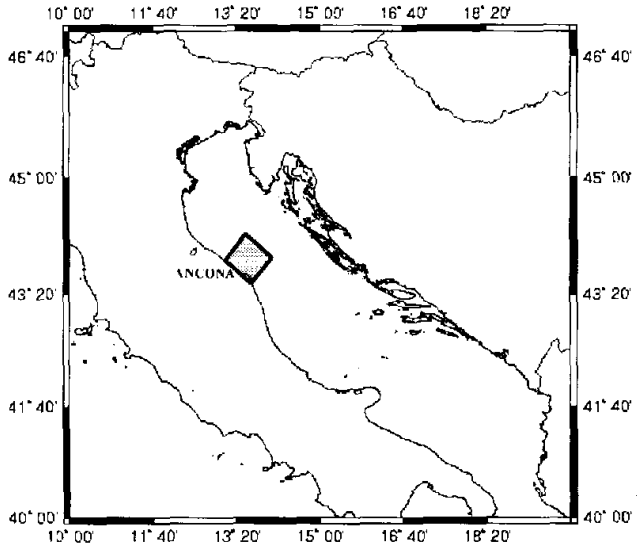


Fig. 1 – Area di studio.

Per soddisfare queste esigenze è necessario un reticolo tridimensionale di misure continue dei parametri dinamici (velocità delle correnti, marea, stress del vento, ecc.) e di quelli idrologici (temperatura, salinità, ossigeno, ecc.). Le misure idrologiche, in un'area

seppur limitata, sono necessariamente effettuate in periodi limitati di tempo e sono comunque affette da una sorta di aliasing spazio-temporale dovuta alla non contemporaneità delle rilevazioni. Mediante le tecniche di telerilevamento è possibile invece avere informazioni simultanee in una più o meno vasta zona per lunghi periodi di tempo. Un moderna tecnica di misura delle correnti marine prevede l'utilizzo dei segnali a HF emessi e ricevuti da due o più siti.

L'utilizzo del segnale radar ad HF per caratterizzare la circolazione superficiale di un tratto di mare è stato inizialmente proposto da Crombie (1955) il quale osservò che il segnale riflesso dalle onde marine risultava essere esattamente la metà di quello irradiato. Il principio generale di funzionamento di questo strumento si basa sull'effetto Doppler delle onde riflesse dalla superficie marina (Bragg-scattering) che si propagano radialmente da o verso la sorgente di emissione del radar. Conseguentemente sono necessarie almeno due installazioni radar per determinare nel piano orizzontale il campo bidimensionale della corrente. Negli ultimi anni numerose tecniche per la validazione e lo studio delle informazioni ottenute da sistemi radar a HF hanno prodotto una notevole bibliografia al riguardo (es. Lipa & Barrick, 1983; Prandle, 1991; Fernandez, 1993). Le misure fornite dal CODAR sono generalmente indicate come rappresentative del primo metro di profondità, recenti studi hanno però indicato che il campo dinamico fornito sia invece relativo solo ai primi 50 cm.

2. MATERIALI E METODI

Lo strumento utilizzato per questo studio è un Seasonde CODAR Ocean Sensor, che opera alla frequenza di 47-50 MHz. Le due antenne che compongono il sistema sono state posizionate lungo la costa anconetana all'altezza di Senigallia e di Ancona ad una distanza di circa 30 km l'una dall'altra.

La geometria del sistema gioca un ruolo determinante per l'affidabilità delle misure. All'aumentare della distanza dei punti di emissione delle onde elettromagnetiche la precisione della misura diminuisce per errori di distorsione; ulteriori errori possono essere dovuti ad angoli troppo piccoli di intersezione dei segnali emessi. A tal proposito, Lipa& Barrick (1983) hanno suggerito di utilizzare solo i dati interni ad una matrice di 20x20 km per dislocazioni del sistema analoghe a quelle da noi utilizzate. Occorre considerare inoltre che il sistema fornisce informazioni che possono contenere alcuni gap sia temporali che spaziali; ovviamente sia a causa di problemi hardware, sia per una non affidabilità della misura individuata dagli algoritmi di elaborazione (Paduan & Rosenfeld, 1996). Nella configurazione adottata nell'area anconetana il sistema fornisce dati mediati su un intervallo di 1 ora. La matrice 20x21 interna alla regione coperta dal radar è riportata in Fig. 2 con le isolinee della copertura percentuale in termini di numero di misure. 11 confronto delle misure acquisite dal Codar è stato effettuato mediante un correntometro Aanderaa posto a 5 m di profondità su un fondale di 12 m a circa 2.2 km dalla costa (Fig. 2).

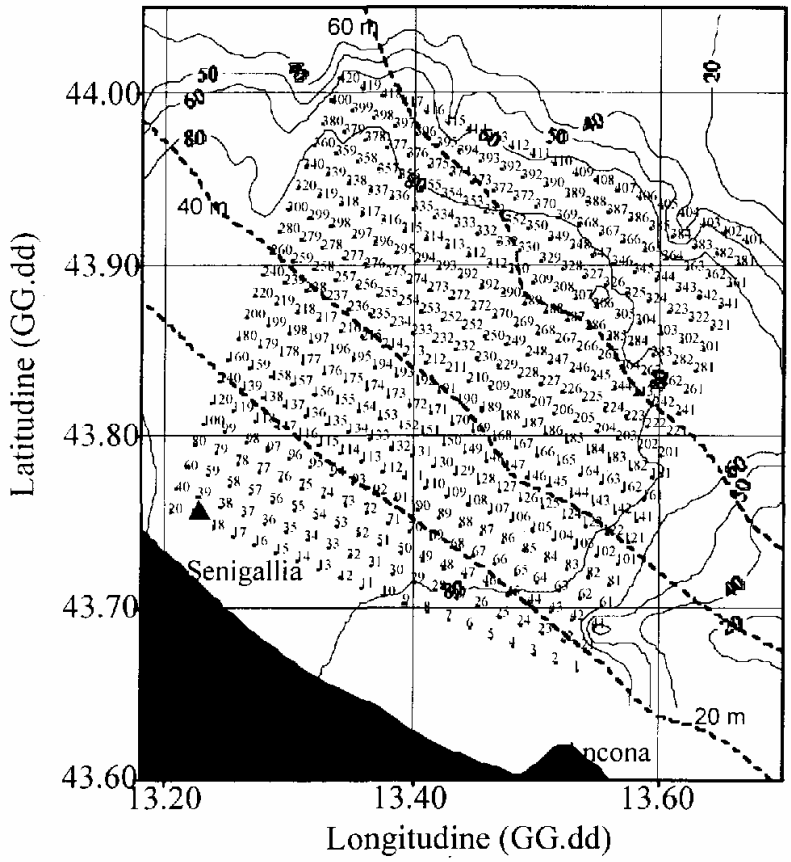


Fig. 2 - Distribuzione percentuale (isolinee) dei vettori misurati nelle prime 2593 ore (108 giorni c.a.) di funzionamento e posizione del correntometro (triangolo).

3. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Una prima visione qualitativa sull'intero data-set si ottiene dalla distribuzione dei vettori misurati nelle prime 2593 ore (poco più di 108 giorni) riportata in Fig. 3 nella quale sono indicate le due stazioni (Senigallia e Ancona) e la dispersione dei vettori di corrente misurati su ogni punto del reticolo. Ogni punto rappresenta il vertice del vettore velocità misurato nel quadrato di lato 1,5 km. La densità dei punti è un indice della copertura del CODAR che risulta maggiore nella parte centrale e a Nord di Senigallia mentre nella zona a Est di Ancona le misure sono meno frequenti.

La distribuzione spaziale è quasi circolare nell'area attorno alla mezzeria della linea di base delle due stazioni radar, mentre nelle zone esterne o vicine alle due stazioni assume una forma ellittica, con l'asse maggiore che aumenta e ruota attorno alle due stazioni e al punto di mezzeria. Questa regolarità nell'aspetto delle rose delle correnti, che non trova nessuna spiegazione nella dinamica marina dell'area, suggerisce una causa legata alla distribuzione dell'errore dello strumento.

La Fig. 4 indica come si propaga un errore costante nella misura delle componenti

radiali. Si notano chiaramente certe analogie con la distribuzione delle misure riportate nella figura precedente:

a) la rappresentazione corretta nel punto mediano della mezzeria;
b) la rotazione e l'aumento degli errori man mano che -ci si allontana da questo punto centrale.

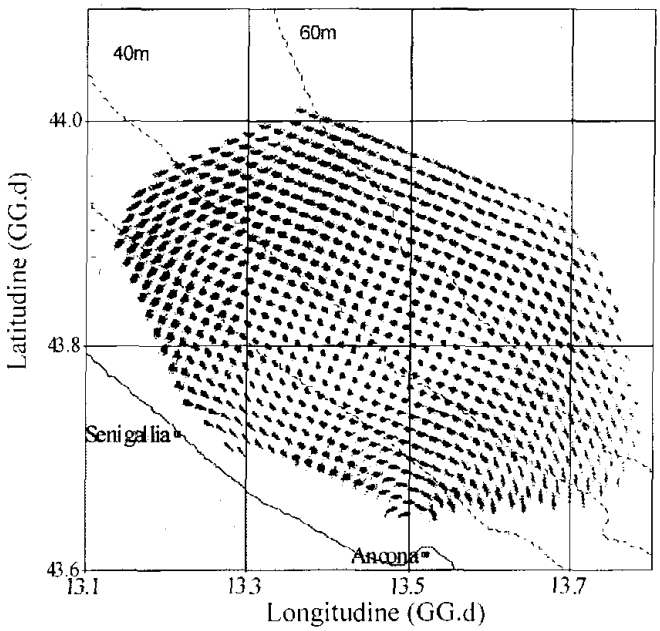


Fig. 3 – Distribuzione spaziale delle misure nelle prime 2593 ore (108 giorni c.a.) di funzionamento.

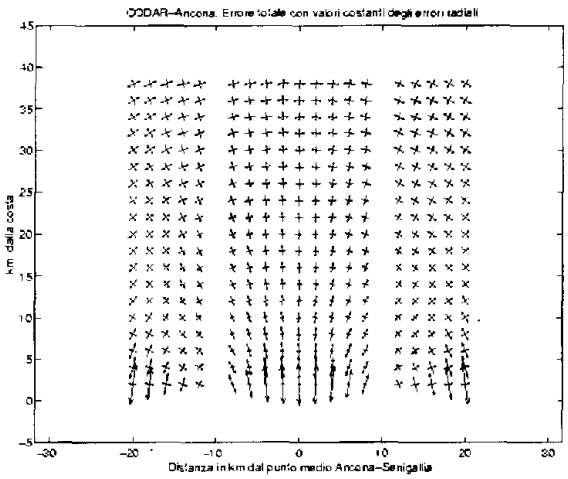


Fig. 4 – Propagazione di un errore costante nella misura delle componenti radiali.

4. TARATURA DELLO STRUMENTO

L'effetto Doppler fornisce una valutazione assoluta della corrente nel primo metro

di acqua del mare, ma la tecnica di estrazione della velocità in ciascun punto dell'area utile introduce molte incertezze: è quindi necessario effettuare una fase di verifica confrontando le misure CODAR con velocità ottenute con metodi sia lagrangiani, alla superficie del mare, sia euleriani.

Il CODAR ed il correntometro misurano la corrente alla superficie ed a -5 m rispettivamente, quindi, in entrambi i casi, nello strato superficiale rimescolato estivo sopra il termoclino stagionale: un'analisi comparata dei due set di dati è certamente significativa. In tutte le successive elaborazioni sono state confrontate le componenti longshore e offshore dei vettori corrente rilevati dal CODAR e dal correntometro.

Dalla Fig. 5, che mostra le serie temporali delle componenti longshore e offshore del CODAR e del correntometro, si nota che quest'ultimo (che si trova circa a metà tra la superficie ed il fondo) indica un valore che è circa la metà di quello misurato dal radar.
Per le maree e le basse frequenze, che dovrebbero essere con forte caratteristica barotropica, il minore valore della corrente indicato dal correntometro può essere indicativo di un maggiore importanza degli attriti in acque basse.

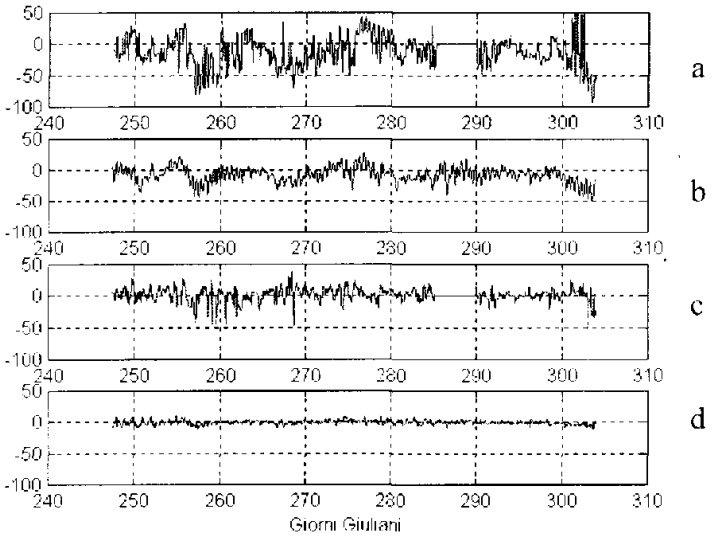


Fig. 5 - Serie temporali delle componenti longitudinali misurate dal Codar (a) e dal Correntometro (b), (+ verso NW); componenti trasversali misurate dal Codar (c) e dal Correntometro (d), (+ verso NE).

Analizzando le serie temporali delle componenti trasversali (+ verso NE) e longitudinali (+ verso NW) attraverso la Fig. 6 e la tabella 1, risulta bene come la differenza sia maggiore per la componente trasversale. Infatti si deve tenere presente la vicinanza alla costa ed il regime di brezza dei venti locali, che inducono una forte variabilità nell'alta frequenza alla superficie.

Nell'agosto 97 e giugno 98 sono state eseguite misure lagrangiane posizionando delle derive immerse nel primo metro di acqua. Le prime misure sono durate circa tre giorni ed hanno interessato l'area centrale, quella in cui l'errore è minore. La corrente era diretta parallelamente alla costa verso SE e la correlazione con il CODAR è risultata

buona. Nella misura del giorno 2.6.98, la corrente era diretta verso costa e il CODAR indicava praticamente la stessa situazione.

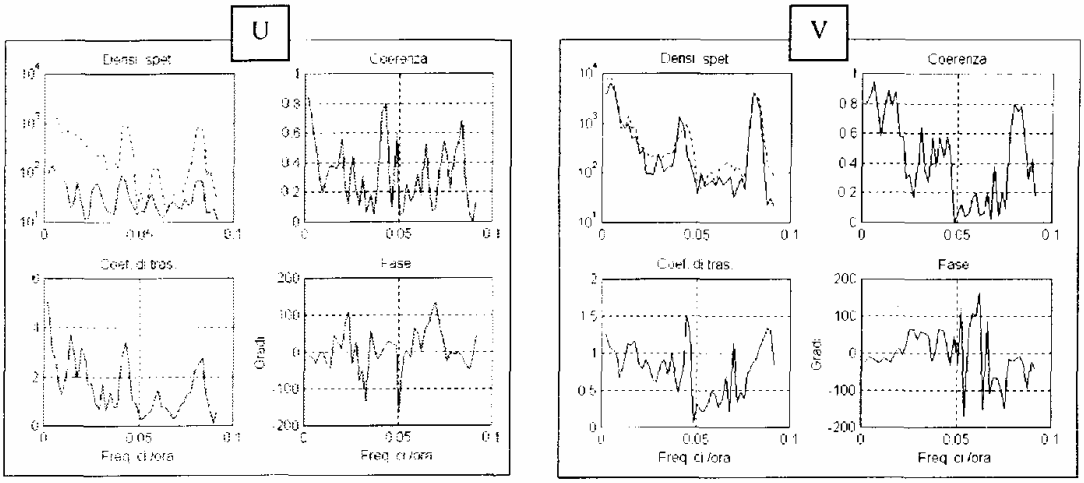


Fig. 6 - Analisi spettrale e di coerenza per la componente u (trasversale) e v (longitudinale) del correntometro (linea piena) e del Codar (linea tratteggiata).

Nel giorno 1.6.98 è stata controllata la zona che si trova a 30 km al largo di Ancona: la corrente era diretta verso NW con valori simili a quelli del CODAR.

L'area al traverso di Senigallia è stata controllata il 31.5.98. Il movimento per le prime 5 ore era per NW poi per altre tre ore per N e NE. Il CODAR per tutto il periodo ha mostrato correnti per NW. La brevità del periodo delle misure, soltanto mezza giornata per i due vertici esterni dell'area utile, non possono ovviamente fornire risultati definitivi, tuttavia essi mostrano una discrepanza nella parte al largo di Senigallia. Si deve tenere presente che l'eventuale errore strumentale non è certamente sistematico ma, come già indicato (Paduan, 1996), strettamente dipendente dalle condizioni sia meteomarine che di propagazione delle onde elettromagnetiche.

Tab. 1 - Correlazioni lineari tra le componenti longitudinali (U) e trasversali (V) misurate dal Codar e dal Correntometro filtrati con un filtro passabasso; il pedice fhn indica la frequenza di taglio in ore utilizzata per il filtraggio numerico.

U	U_{f20}	U_{f30}	U_{f48}	U_{f96}	V	V_{f20}	V_{f30}	V_{f48}	V_{f96}
0.44	0.54	0.50	0.53	0.54	0.67	0.71	0.78	0.80	0.79

5. PRIMI RISULTATI

La circolazione delle aree costiere comprende fenomeni dovuti alla variazione del fondale ed alla presenza della stratificazione e, come nel nostro caso, ad una importante componente marcale nonché di transienti dovuti ai forzamenti meteorologici. Una analisi puntuale dell'evoluzione, ora dopo ora, della circolazione fornita dal CODAR mostra

una situazione molto complessa che, in questa fase, non consente di individuare con sufficiente certezza i fenomeni naturali. In questo lavoro si è preferito perciò focalizzare l'attenzione sulla valutazione preliminare del buon funzionamento dello strumento analizzando gli spettri della circolazione che si ottengono dall'analisi in frequenza delle misure relative all'area centrale di 20 x 21 punti nella quale, come evidenziato precedentemente, l'errore è minore. Le serie temporali continue per oltre tre mesi di dati si ottengono ponendo dei valori nulli alla corrente per i punti e i periodi di non funzionamento del CODAR (solo pochi giorni).

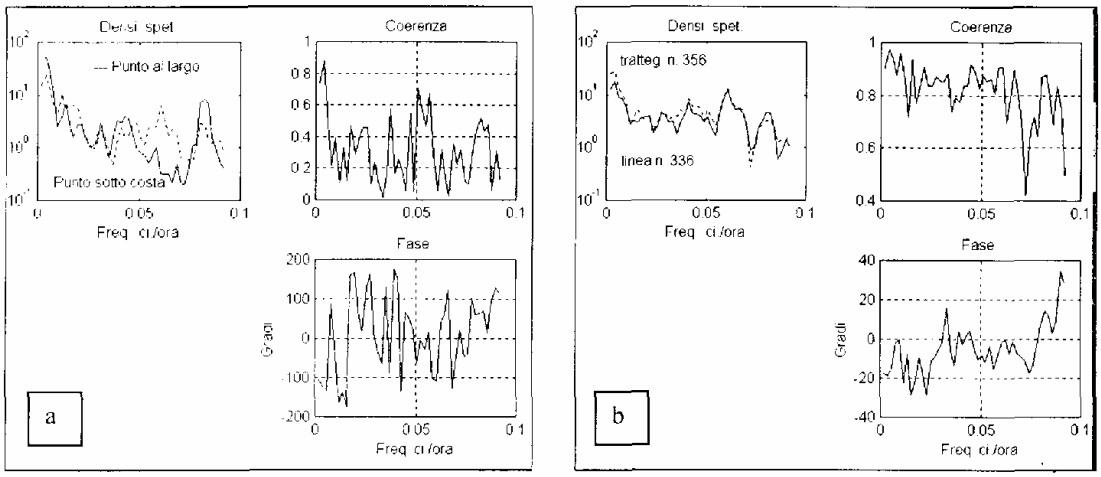


Fig. 7 - Analisi spettrale della componente longshore in due punti sulla trasversale a metà tra le due stazioni emittenti (a); analisi spettrale della componente longshore tra due punti al largo ai limiti estemi dell'area considerata (b).

Gli spettri (Fig. 7a) della componente parallela alla costa delle velocità di due punti posti sulla trasversale a metà tra le due stazioni emittenti mostra con chiarezza la presenza della marea (frequenze di circa 0.04 e 0.08 cicli/ora), con una diminuzione di energia dalla costa al largo (posizione dei punti in figura 2). Ciò è in accordo con quanto è noto sulla marea nell'alto Adriatico, che è composta da un'onda di Kelvin, che decade esponenzialmente verso il largo per la semidiurna, e da un onda in acque basse, che si propaga lungo l'asse dell'Adriatico per la diurna.

La Fig. 7b, mostra l'analisi Ira due punti al largo ai limiti esterni dell'area considerata dove già l'errore è importante. Gli spettri sono praticamente identici, mostrano le stesse bande di energia e uguali valori di picco e ciò può significare che l'errore non modifica seriamente l'andamento temporale della componente parallela alla costa, che dovrebbe essere quella più energetica e significativa nell'ambito della nostra ricerca. E' interessante notare che le fasi, quasi nulle per l'alta frequenza, indicano un ritardo del punto più a sud, il che comporta una velocità di fase da NW a SE in accordo con la propagazione di onde topografiche (es. Pedlosky, 1979).

Una situazione che consente di apprezzare la qualità complessiva del CODAR è quella relativa all'evento meteorologico da NW del 15.9.97 (Bora), durato meno di una giornata e comparso isolatamente in un lungo periodo di regime di brezze. Nella Fig. 8 è mostrata l'energia cinetica media di tutta l'area 20x21 punti antistante la linea di base delle stazioni Senigallia-Ancona. Sino al pomeriggio del 14.9.97 l'energia oscilla tra valori di 500 e 1000 cm^2/s^2, poi sale rapidamente nella notte dello stesso giorno, sino a 2800 cm^2/s^2. Compaiono anche delle componenti di alta frequenza aventi circa un terzo dell'energia cinetica totale. Nei cinque giorni successivi l'energia decade gradualmente sino a riprendere il ritmo precedente al forzante meteo. Questo andamento è quello classico di un transiente con l'eccitazione di frequenze proprie delle sesse in Adriatico; si può quindi rilevare che il CODAR ha segnalato correttamente l'input energetico complessivo nell'area marina anconetana.

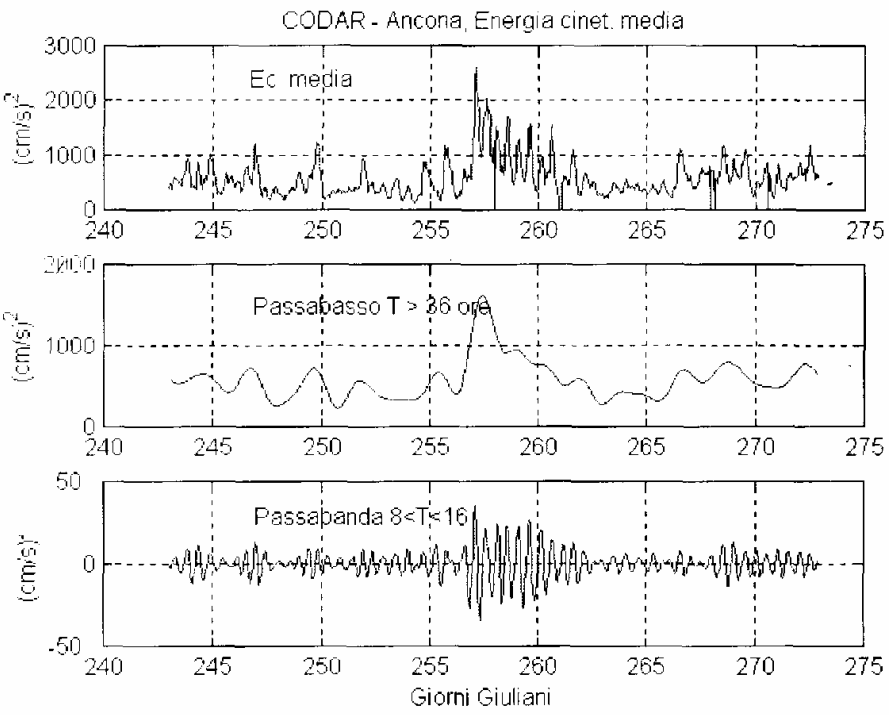


Fig. 8 - Energia cinetica media di tutta l'area di studio a varie bande di frequenza durante l'episodio di forzamento da Bora del 14/9/97 (giorno giuliano 257).

6. CONCLUSIONI

Il CODAR è certamente uno strumento molto interessante per il tipo di informazioni che fornisce. Il suo impiego nell'area marina antistante Ancona ha consentito di integrare la terza e quarta campagna di misure con un set di dati la cui reale importanza richiede uno studio approfondito nell'ambito della terza fase del progetto PRISMA-2. Le misure non sono sempre affidabili poiché l'errore, che appare maggiore e più frequente nella zona al largo di Senigallia, non è attualmente individuabile in quanto dovuto alle

condizioni ambientali, quali il moto ondoso e la propagazione delle onde elettromagnetiche, che generalmente non si conoscono. Per un impiego più sicuro di questo sistema è necessaria una taratura con misure lagrangiane in tutta la zona coperta ed in varie situazioni meteomarine, in modo da acquisire una solida consapevolezza del funzionamento dello strumento. Ulteriori informazioni in merito potranno essere ottenute dall'analisi delle traiettorie di altri drifters rilasciati recentemente in Adriatico (Poulain, 1999).

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto PRISMA-2, sottoprogetto 1 "Oceanografia fisica, chimica e biologica", finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica.

BIBLIOGRAFIA

Artegiani A., Sansone E., Purini R., Antolini B., Bianco G., Budillon G., De Alteris A., De Stefano M., Falco P., Ficca G., Gallarato A., Moretti M., Pangia M., Pariante R., Paschini E., Russo A. & Simioli A. 1999. Condizioni oceanografiche della fascia costiera fra Senigallia e Porto Recanati nel periodo 3 agosto - 27 settembre 1996. 3° Tech. Rep. PRISMA seconda fase Sottoprogetto 1: Oceanografìa Fisica, Chimica e Biologica. In preparazione

Crombie D.D. 1955. Doppler Spectrum of Sea Echo at 13.56 Mc/s. *Nature,* 175: 681-682.

Fernandez D.M. 1993. High-Frequency Radar Measurements of Coastal Ocean Surface Currents. Stanford University, PhD dissertation.

Lipa B.J. & Barrick D.E. 1983. Least-Squares Method for the Extraction of Surface Currents from CODAR Crossed-Loop Data: Application at ARSLOE. IEEE J Oceanie Eng OE8: 226-253.

Paduan J.D. & Rosenfeld L.K. 1996. Remotely sensed Surface Currents in Monterey Bay derived from Shore-Based HF Radar. *J. Geophys. Res.,* 101 C9: 20669-20686.

Pedlosky J. 1979. Geophysical Fluid Dynamics. Springer Verlag, 624 pp.

Poulain P.M. 1999. Drifter observations of surface circulation in the Adriatic Sea between December 1994 and March 1996.,*J. Marine Systems,* 20: 231-253.

Prandle D. 1991. A New View f Near-Shore Dynamics Based on Observations from HF Radar. *Prog. Oceanogr.,* 27: 403-438.

Prandle D., Loch S.G. & Player R. 1993. Tidal Flow through the Straits of Dover. J *Phys. Oceanogr.,* 23: 23-37.

Shay E.K., Graber H.C.. Ross D.B. & Chapman R.D. 1995. Mesoscale Ocean Surface Current Structure Detected by High-Frequency Radar. *J. Atmos. Oceanic. Technol.,* 12:881-900.

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 43-54, luglio 2000

ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE DEL MATERIALE SOSPESO NELLE ACQUE DEL NORD-ADRIATICO

Alessandra MARTINI[1], Marco CAPELLO[1],
Marco FERRARI[1], Sandro CARNIEL[2]

[1]Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse,
Università degli Studi di Genova.
[2]Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, CNR Venezia.

ABSTRACT

The distribution of suspended particulate matter is strictly linked to the contribution of the superficial primary production, to the terrigenous input of the shelf and of the particle fluxes conveyed by the currents. The downward complessive mass load, in the water column, is exposed to the action of both vertical and horizontal displacements. Following the main lines of "PRISMA 2" Research Programme, we have utilized the suspended matter, defined by concentration, composition and dimensional characteristics, as natural tracer, in order to distinguish the coastal waters from the "offshore" one and to locate the frontal areas. In this work, we discuss about some aspects concerning two sampling cycles, performed, respectively, during summer 1996 and winter 1997, in the region adjacent to the Po river mouth, limited by 45°00'N and 43°30'N and by 13°25'E. The first campaign consisted of 39 sampling stations while *52* ones were included in the second one. Sampling sites and dephts of drawing were selected on the basis of the results obtained from physical measurements performed in 186 CTD casts in summer and 130 in winter. Some seasonal situations were described and interesting differences concerning the suspended matter concentrations were found; some situations could be also linked with resuspension phenomena.

Results evidenced a spatial and temporal variability of the river plume during winter lime. Cells with high suspended load rates tend to move away from the coastal zone and develop themselves, settling on 30 - 40 m depth sea floors.

RIASSUNTO

La distribuzione del materiale particolato sospeso è strettamente legata al contributo della produttività superficiale, agli apporti terrigeni dello *shelf* e a quelli dovuti al trasporto da parte delle correnti. Il carico complessivo, scendendo lungo la colonna d'acqua, subisce la combinazione di movimenti verticali ed orizzontali. Nell'ottica delle linee orientative delineate dal programma di ricerca "PRISMA 2" è stato utilizzato il materiale in sospensione, definito in concentrazione, composizione e tessitura, come

indicatore naturale capace di caratterizzare le masse d'acqua costiere e d'altura e di definire le aree frontali. Discuteremo in questo lavoro alcuni aspetti relativi a due cicli di campionamento effettuati rispettivamente durante l'estate 1996 e l'inverno 1997, nell'area prospiciente la foce del Po limitata verso l'esterno dai paralleli 45°00'N e 43°30'N e dal meridiano 13°25'E. La prima campagna comprende 39 stazioni di campionamento mentre 52 sono state realizzate nell'ambito della seconda. I siti e le quote di campionamento sono stati scelti sulla base dei risultati ottenuti da misure fisiche condotte in 186 stazioni CTD in estate e 130 in inverno. Sono state descritte alcune situazioni stagionali e riscontrate differenze importanti nelle concentrazioni del materiale sospeso, alcune delle quali presumibilmente legate a fenomeni di risospensione.

I risultati hanno evidenziato una rilevante variabilità spazio-temporale della *plume* fluviale in inverno. Celle ad alto carico sospeso si allontanano dalla fascia costiera ed evolvono rapidamente fino a sedimentare su fondali compresi tra i 30 ed i 40 m di profondità.

1. INTRODUZIONE

Il Progetto multidisciplinare Prisma 2 (sotto-progetto 1) ha previsto quattro cicli stagionali di misure effettuati nell'arco di due anni (a partire dall'estate 1996 fino alla primavera 1998), nel Mar Adriatico settentrionale e centrale. Lo scopo della ricerca era lo studio delle aree frontali generate dall'interazione tra le acque legate all'apporto del Fiume Po e le acque marine adriatiche, costiere e di mare aperto: queste ultime sono rappresentate dalla "Nord Adriatic Superficial Water" (NAdSW), originata dalla "Levantine Intermediate Water" (LIW), che, provenendo dal Mediterraneo Orientale si insinua, in parte, nel Mar Adriatico e si spinge verso nord, dove giunge totalmente modificata (Artegiani *et al,* 1997) e dalla "Nord Adriatic Deep Water" (NadDW).

In questa sede sono trattati e confrontati i risultati ottenuti dalle campagne oceanografiche svoltesi nel settore settentrionale e riguardanti i cicli estivo ed invernale. Ciascuno dei due cicli d'indagine comprendeva due campagne multidisciplinari durante le quali sono stati effettuate stazioni idrologiche, in parte integrate da campionamenti finalizzati alla caratterizzazione biogeochimica delle acque (Fig. 1).

Questo studio, che fa seguito ad altri precedentemente condotti in quest'area (Boldrin & Rabitti, 1992; Puskaric *et al,* 1992), mette in relazione i parametri riguardanti il materiale particolato sospeso, concentrazione, composizione e caratteristiche dimensionali, con i parametri fisici allo scopo di relazionare quest'ultimi con la distribuzione del materiale in sospensione e successivamente individuare le principali direttrici di flusso e l'evoluzione spazio temporale delle aree frontali.

L'analisi delle situazioni riscontrate, siano esse strutture fisiche ovvero distribuzioni del materiale in sospensione, viene effettuata assumendo che l'acquisizione dei dati ed il campionamento siano stati sinottici o che comunque non si siano verificati importanti cambiamenti nelle condizioni meteorologiche, durante la singola fase. Per il

rispetto di questo principio, l'analisi dei dati riguardanti la campagna di febbraio è stata scissa in due parti, trattate separatamente.

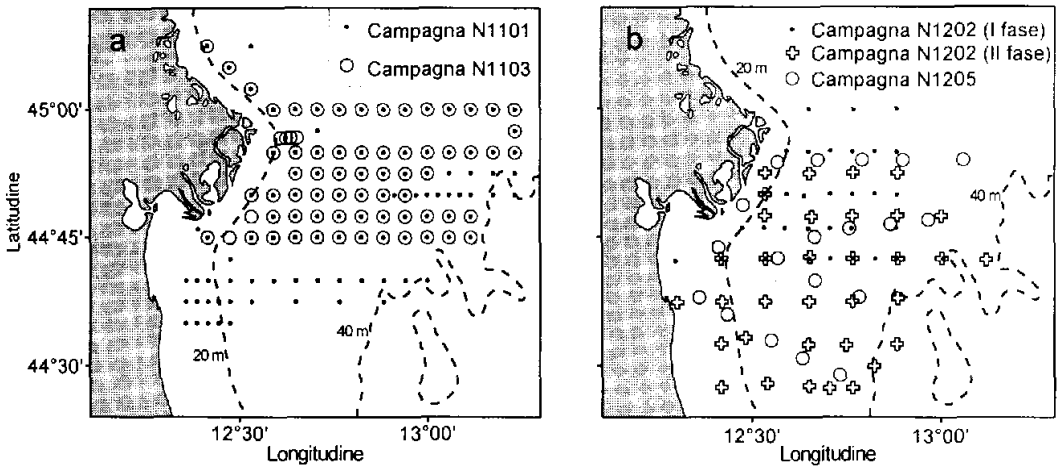


Fig. 1 - Ubicazione delle stazioni di misura: a) Estate 1996; b) Inverno 1997.

2. STRUMENTAZIONE E METODI

Le indagini sono state condotte nell'estate 1996 (crociere N1101 e N1103) e nell'inverno 1997 (crociere N1202 e N1205) a bordo della N/O Coopernaut Franca. Durante le quattro campagne di ricerca si sono eseguite misure fisiche e campionate acque superficiali, intermedie e di fondo.

Le operazioni di campionamento e misura sono state effettuate utilizzando una sonda CTD Sea Bird Electronics (SBE 911 Plus) dotata di sensori di pressione, temperatura, conducibilità ed ossigeno disciolto, operativi ad una frequenza di campionamento di 24 Hz, corredata da Multisampler G.O. con bottiglie Niskin da 121.1 profili CTD sono stati eseguiti secondo metodologie standard, concordate tra i responsabili e le distribuzioni di temperatura, salinità e densità sono state calcolate secondo la consolidata metodologia dell'analisi oggettiva (Bergamasco & Pierazzo, 1992). La densità viene espressa in Sigma-t (kg/m^3). Per una descrizione esaustiva delle misure fisiche *e* dei profili si rimanda a Bergamasco *et al.* (1997 e 1998).

I campioni d'acqua sono stati filtrati a bordo e conservati ad una temperatura di -20 °C, in vista della determinazione della concentrazione di sospeso totale e successiva differenziazione in frazione organica ed inorganica secondo la metodologia di Strikland & Parson (1968), modificata da Piccazzo & Tucci (1983); sono stati preparati anche filtri da utilizzare per l'analisi mineralogica, eseguita mediante diffrattometria (Veniale *et al.,* 1987) e messe da parte quantità di campione da destinare all'analisi dimensionale al Coulter Counter Multisizer II (Krank, 1980); l'analisi è stata effettuata utilizzando un capillare da 140 µm, al fine di ottenere una classificazione dimensionale compresa tra 0.7 e 90 µm.

3. RISULTATI OTTENUTI

3.1. Campagna estiva N1101 (17-22 luglio 1996)

Nello strato superficiale risulta evidente l'esistenza di un fronte che separa le acque costiere da quelle del mare aperto; esso presenta una direzione principale SW-NE ed è caratterizzato da una forma a meandro. Oltre che in prossimità della foce, un nucleo di acque a bassa salinità si trova ad est, forse separatesi dal primo a causa del vento. A sud della foce il fronte alino si presenta parallelo alla linea di costa, mentre verso nord si dispone trasversalmente ad essa (Fig. 2a).

Nello strato vicino al fondale si nota un forte gradiente nei parametri fisici misurati, che identifica un fronte di direzione N-S, che separa una zona costiera a bassa profondità da una più profonda nel settore est. La zona costiera, grazie al basso fondale, presenta una massa d'acqua omogenea per effetto del riscaldamento stagionale e del mescolamento con le acque dolci; la zona esterna è invece caratterizzata da acque più stratificate.

L'elevata variabilità dei valori di salinità (29.2 - 38.2) è direttamente legata ad un massimo di portata da parte del Po verificatosi durante i giorni precedenti il campionamento; tale evento sfiora i 1800 m^3 giornalieri e se non risulta eccezionale in termini assoluti, è comunque rilevante rispetto alle portate del periodo.

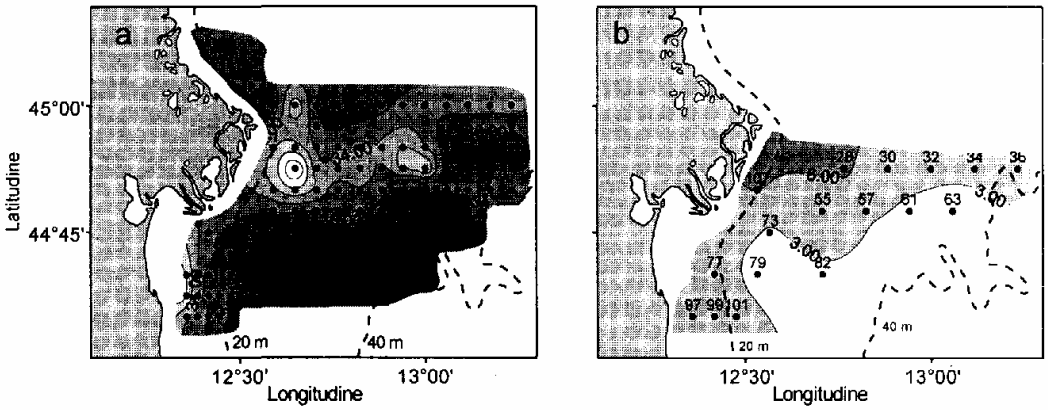


Fig. 2 - Campagna NI 101. Distribuzioni superficiali a) salinità; b) TPM (mg/l).

In questa fase, i valori della concentrazione del sospeso totale non si sono rivelati eccessivamente alti, con un range che varia da un minimo di 1.65 mg/l ad un massimo di 6.52 mg/l ed una concentrazione media di 3.34 mg/l. Le concentrazioni maggiori sono state riscontrate nell'orizzonte superficiale, in prossimità della foce del Po, dove anche i parametri fisici evidenziano il contributo del corso d'acqua (Fig. 2). La struttura fisica della massa d'acqua indica che acque con salinità superiore a 36, quindi non direttamente influenzate dagli apporti dolci costieri, sono riscontrate nelle stazioni esterne, in corrispondenza di concentrazioni di T.P.M. inferiori a 3 mg/l. Pertanto questo valore, coincidente peraltro con il valore medio, viene utilizzato come limite di

separazione fra le acque influenzate dalla torbida fluviale e le .acque di altura. Si evidenzia come la *plume,* carica di sospeso, si direzioni lungo due linee di flusso preferenziali," fluendo in parte verso sud, lungo la costa, in parte estendendosi verso il largo e perdendo, durante questo cammino, parte del carico solido. Il materiale in sospensione è costituito principalmente dalla frazione organica che si presenta in percentuali quasi sempre superiori al 60%, sia nelle acque costiere, sia in quelle d'altura.

L'analisi dimensionale ha permesso di distinguere almeno tre tipologie spettrali ricorrenti che si riproporranno anche nell'ambito delle indagini che tratteremo in seguito:

- spettro bimodale con moda principale sul fine (3 µm);
- spettro bimodale con moda principale grossolana (30-80 µm);
- spettro plurimodale.

La distribuzione delle tipologie e dei relativi parametri statistici dimostrano come le acque legate all'apporto continentale siano caratterizzate da materiale di grosse dimensioni (moda principale mediamente superiore a 40 µm) e scarsamente classato (spettri plurimodali); le stesse acque, fluendo verso il largo, subiscono una selezione del materiale sospeso che, ad una distanza di circa 30 - 40 km dalla costa, in corrispon denza del nucleo di acque a bassa salinità, è ancora costituito da particelle generalmente grossolane ma riferibili essenzialmente a due valori modali: 40-60 µm il principale; 3 µm, quello secondario. Particelle fini (moda principale minore di 20 µm) e ben selezionate caratterizzano, invece, le acque di "mare aperto". Riguardo a questo è necessario tenere conto del fatto che la curva dimensionale non risulta influenzata unicamente dai processi di sedimentazione e conseguente classazione del sospeso ma è certamente rilevante anche l'abbondanza di sostanza organica, la quale è formata da *fitoplancton* che è presente con popolazioni diverse sotto costa ed al largo che giustificano le diverse dimensioni delle particelle.

Sul fondo si riscontra una certa omogeneità dei parametri riguardanti il sospeso: solo si riscontrano concentrazioni relativamente più alte in prossimità della foce, anche se le quantità di materiale restano, comunque, subordinate rispetto alla superficie.

3.2. Campagna estiva N1103 (28 agosto - 3 settembre 1996)

Nello strato superficiale risulta evidente l'esistenza di un fronte costiero avente principale direzione N-S, marcato quasi esclusivamente dai valori della salinità. Procedendo verso est, dopo aver attraversato una zona con valori di salinità superiori a 35, si ritrova un nucleo di acqua meno salata.

Tale situazione non compare nelle acque prossime al fondo, che mostrano una salinità sempre crescente procedendo verso il mare aperto.

Anche in questa fase il campo di salinità è piuttosto variabile (30.3 -38.1) e sembra essere giustificato da una crescita della portata giornaliera del Po che tocca il suo valore massimo (2210 m^3 /giorno) proprio durante le operazioni di campionamento.

In questo periodo il materiale in sospensione è presente, in superficie, con concentrazioni maggiori rispetto a quelle della fase precedente; nella zona nord della foce le concentrazioni di sospeso non scendono mai al di sotto del valore di 9 mg/l,

sfiorando i 25 mg/l nella stazione più settentrionale e la concentrazione media, calcolata per tutta l'area di indagine, è pari a 4.5 mg/l. L'isolinea dei 3 mg/l, alla quale è riferito il fronte, presenta un andamento simile a quello individuato un mese prima ed anche le principali direttrici di flusso risultano le medesime. La composizione del materiale registra un ulteriore decremento della frazione inorganica, la cui percentuale media non supera mai il 34 %, con valori minimi vicini al 3 %; fa eccezione il nucleo di acqua dolce che risulta composto prevalentemente da costituenti minerali.

Anche in questo caso, i parametri statistici dimensionali relativi alle particelle sospese caratterizzano le acque meno salate, sia vicino alla costa, sia in corrispondenza del nucleo individuato ad est, con diametri maggiori (moda > 40 μm) rispetto a quelli misurati nelle acque con valore di salinità superiore ai 35. Le tipologie spettrali ricorrenti sono le stesse che caratterizzavano il mese di luglio e, anche in questo caso, la *plume* fluviale si distingue per la scarsa classazione granulometrica del materiale contenuto.

Sul fondo, il materiale sospeso è distribuito in maniera analoga a quella che caratterizza la superficie ma è ancora presente in quantità minori; a sud della foce esso si differenzia per composizione e dimensioni da quello superficiale mentre lungo il transetto prospiciente la foce presenta percentuali di sostanza organica analoghe a quelle riscontrate alle quote superficiali ed intermedia (maggiori del 60 %) ma dimensioni delle particelle minori (moda inferiore a 20 μm).

3.3. Campagna invernale N1202 (13-18 febbraio 1997)

3.3.1. Prima fase (13-15 febbraio 1997)

Le acque superficiali, più fredde di quelle più profonde e di quelle di mare aperto, evidenziano una zona omogenea, caratterizzata da valori della salinità che non scendono mai al di sotto di 32.9 (Fig. 3 a); questa situazione è probabilmente legata al minor apporto da parte del fiume (1300 - 1400 m^3/giorno), rispetto alle condizioni riscontrate precedentemente e all'azione del vento che tende probabilmente ad allontanare dalla zona della foce i nuclei d'acqua dolce. In casi come questo, risulta quindi difficile individuare una "signature" del contributo fluviale.

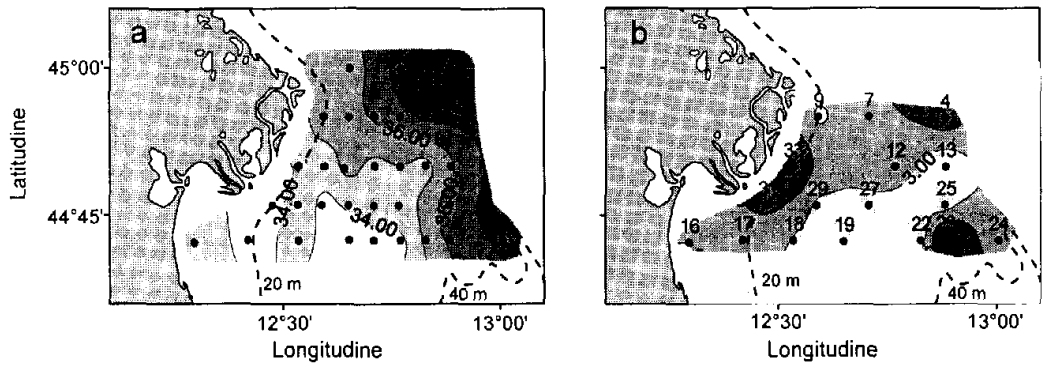


Fig. 3 - Campagna N1202 (I Fase). Distribuzioni superficiali a) salinità; b) TPM (mg/l).

Le concentrazioni di materiale sospeso presentano un valore medio (5.21 mg/l) superiore rispetto alle medie riscontrate nel periodo estivo; tale incremento risulta comunque legato ad una maggiore quantità di materiale in prossimità del fondo. A differenza di quanto osservato precedentemente, il materiale in sospensione non permette una chiara individuazione delle acque costiere; infatti, sebbene si riscontrino, in superficie e sul fondo, concentrazioni relativamente alte in vicinanza della foce, analoghe quantità di sospeso caratterizzano anche le acque salate del largo (Fig. 3b). Questi nuclei torbidi distali, interessanti gran parte della colonna d'acqua, contengono alte percentuali di sostanza organica (80-90 %) e presentano tra loro caratteristiche dimensionali diverse. Risulta piuttosto difficile relazionarli o meno all'apporto fluviale poiché anche l'analisi dimensionale non mostra caratteristiche che possano permettere considerazioni sicure, essendo i valori modali mediamente compresi tra i 10 ed i 30 µm e le tipologie spettrali plurimodali in quasi tutta l'area indagata; solo il nucleo posto a sud-est, risulta caratterizzato da materiale più grossolano con valori modali compresi tra 30 e 50 µm.

L'indagine mineralogica rivela la presenza di minerali quarzosi limitati al settore prossimo alla foce, dove è piuttosto abbondante anche la clorite. Le acque di mare aperto sono invece dominate, come accadeva nei campionamenti estivi, dalla presenza delle componenti carbonatiche (calcite e dolomite). Tale situazione era già stata riscontrata nell'ambito di ricerche condotte precedentemente (Puskaric *et al.,* 1992) secondo cui l'alta percentuale di tali costituenti viene interpretata come fenomeno legato in parte all'abbondanza di coccolitoforidi, specie per quanto riguarda il periodo estivo, in parte viene abbinato all'apporto dei fiumi che sfociano nel nord Adriatico, dopo aver drenato le rocce miocenico-quaternarie carbonatiche dei bacini circostanti; le dimensioni ridotte ed il basso peso specifico spiegherebbero la lunga permanenza di questo materiale nelle acque più distali.

3.3.2. Seconda fase (17-18 febbraio 1997)

Analizzando l'andamento dei parametri fisici, appare evidente un flusso di acque a bassa salinità che sembrano dirigersi dalla foce del fiume verso sud-est e, circa all'altezza del parallelo 44° 42'N, si scindono in due rami: uno si sviluppa verso sud, l'altro disegna un meandro, diffondendosi verso il largo. Acque con bassi valori di salinità (fino a 29.5) rispetto a quelli registrati durante la fase precedente, che interessano l'orizzonte superficiale (fino ad una profondità di 15 m), si spingono notevolmente più al largo; infatti acque dolci costiere vengono ritrovate al centro del meandro sopra descritto e lungo costa, oltre il parallelo 44° 30'N, in buon accordo con i massimi di particolato sospeso (Fig. 4). In questo modo, il fronte risulta definito nel settore est dell'area indagata, ad una distanza di oltre 60 km dalla costa. I valori di tutti i parametri analizzati porterebbero a definire un'ampia influenza da parte del Po, sull'intera zona del campionamento ma l'analisi delle portate giornaliere del periodo in esame sembra non confortare questa ipotesi; infatti le portate, sempre vicine ai 1400 m^3/giorno, non hanno subito alcun incremento rispetto a quelle riscontrate durante la fase precedente, caratterizzata da un campo di salinità nettamente superiore. Presumi-

bilmente, la massa d'acqua dolce presente è costituita da nuclei ancora legati a picchi di portata verificatisi nel mese di gennaio (10 gennaio: 3460 m^3 /giorno; 23 gennaio: 2460 m^3 /giorno) che, in seguito ad un allontanamento, si sono riportati all'interno del campo d'indagine, in occasione della seconda fase del campionamento; l'analisi dei campi di vento relativi al 16 febbraio (giorno interposto tra la prima e la seconda fase), ottenuti dal modello di previsione europea dell'ECMWF, sembra giustificare questa ipotesi, indicando, in base al vento (a 19 m di quota) e all'onda significativa, una mareggiata avente direzione N-NE.

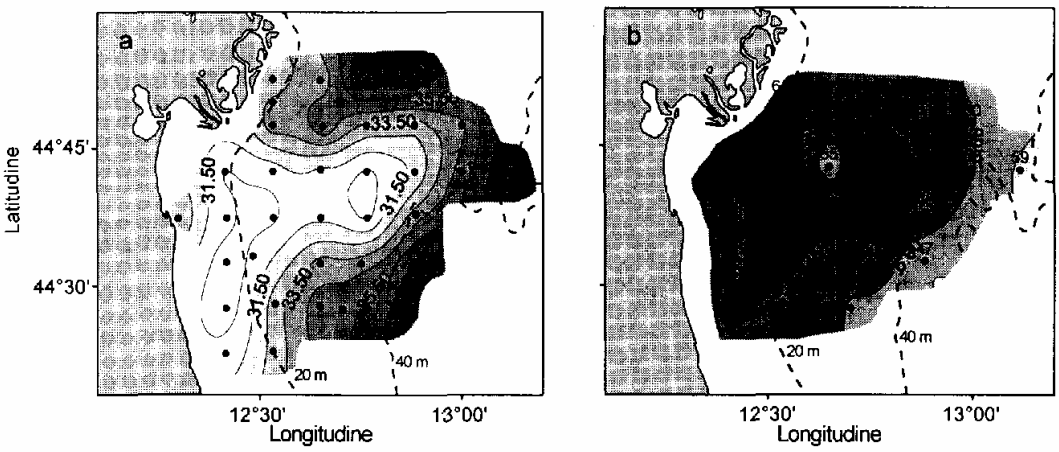


Fig. 4 - Campagna N1202 (II Fase). Distribuzioni superficiali: a) salinità; b) TPM (mg/l).

Le concentrazioni misurate in questa fase non sono in assoluto le maggiori riscontrate fino a questo momento; infatti le quantità di sospeso superiori ai 9 mg/l, presenti nella massa d'acqua dolce, sono inferiori alle concentrazioni di 20 - 30 mg/l già riscontrate in altri momenti ma il valore medio di 8.5 mg/l risulta il più elevato. Il materiale che caratterizza questa massa d'acqua è costituito da consistenti quantità di sostanza organica (50-70 %), che, comunque, è ancora più abbondante nelle acque distali (80-95 %); i minerali presenti sono sempre rappresentati, in prevalenza, da quarzo e fillosilicati, in prossimità della costa e da calcite e dolomite, al largo. L'analisi dimensionale evidenzia un campo di indagine totalmente interessato da materiale mal classato ma in media piuttosto fine (moda mediamente pari a 20 μm).

Le alte concentrazioni di materiale non sono limitate esclusivamente alle acque dolci, presenti nei primi 15 m della colonna d'acqua, ma riguardano anche le acque salate più profonde (Fig. 5). Il materiale presente negli orizzonti prossimi al fondo presenta una composizione diversa da quello superficiale, risultando prevalentemente litogenico. Questa situazione, riscontrata in tutta l'area di indagine, ci porta a ipotizzare che l'elevato valore medio delle concentrazioni di sospeso potrebbe non essere legato esclusivamente alle acque di origine fluviale; il materiale portato dal Po in questo periodo, infatti, si sovrapporrebbe ad una condizione, contraddistinta da alte concentrazioni, già presente e legata sia ad apporti meno recenti risospinti sotto costa, sia ad una risospensione dei sedimenti nella massa d'acqua, ad opera delle condizioni meteo-

marine avverse del giorno precedente il campionamento. Questo sarebbe in accordo con quanto rilevato da Puskaric *et al.* (1992) che proprio in febbraio rilevano, nella stessa area, consistenti livelli nefeloidi di sedimenti risospesi, che interessano la colonna d'acqua a partire dal fondo fino a meno di 20 m dalla superficie.

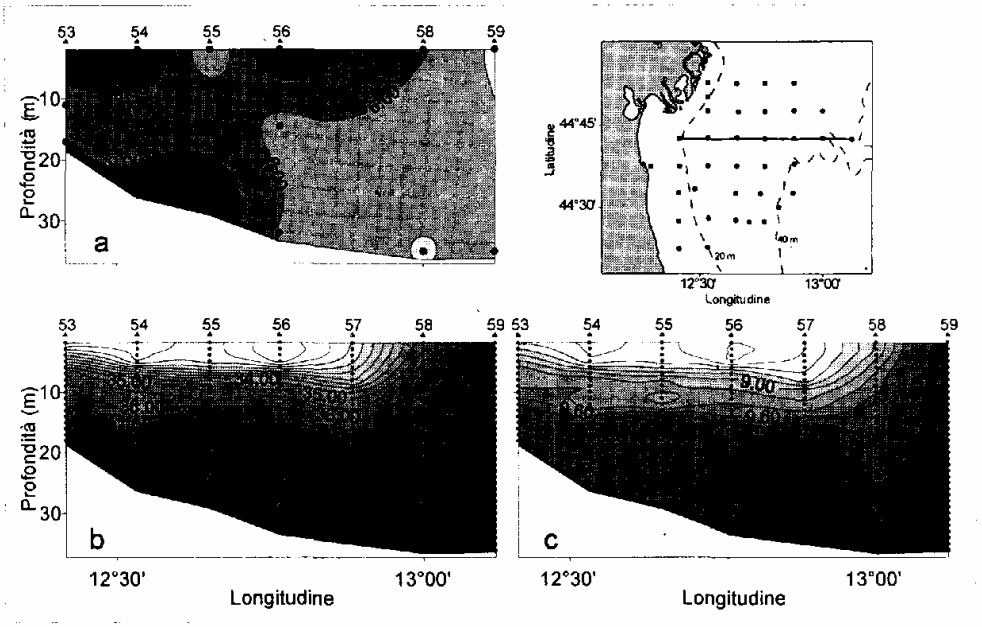


Fig. 5 - Campagna N1202 (II fase). Sezione verticale delle distribuzioni lungo il transetto 44° 42' 30"N: a) TPM (mg/1); b) salinità; c) temperatura (°C).

3.4. Campagna invernale N1205 (12 marzo 1997)

La campagna è stata suddivisa in tre fasi, con ripetizione dello stesso percorso. Nella prima fase, l'unica comprendente anche l'indagine bio-geo-chimica, il campo di Sigma-t, fortemente legato a quello di salinità, indica un fronte che separa le acque più dolci e fredde da una zona più salata e calda, posizionata a sud-est della foce del Po. Il campo di salinità è caratterizzato da valori estremamente bassi in prossimità della costa (24-25), che vanno rapidamente aumentando procedendo verso il largo. Anche in questo caso, la bassa salinità della massa d'acqua prospiciente la foce non sembra essere giustificata dalle portate giornaliere del fiume, che si mantengono su livelli relativamente bassi (circa 1250 m^3/giorno); in effetti, in occasione delle due fasi di campionamento immediatamente successive, il campo di salinità è già caratterizzato da valori maggiori e adeguati all'apporto fluviale del periodo. Probabilmente, il "blob" dolce rappresenta un fenomeno locale, datato nel tempo, che circola sotto costa e che viene identificato grazie alla ridotta scala spaziale dei campionamenti.

La concentrazione media del materiale sospeso, pari a 3.13 mg/l, è inferiore rispetto a quelle riscontrate in precedenza; si registra, una certa variabilità con quantità che raggiungono il valore massimo di 11 mg/l in prossimità della foce e toccano il minimo nelle acque più distali con 0.5 mg/l. Nonostante la distribuzione della salinità

metta in evidenza un fronte piuttosto esteso verso il largo, il materiale risulta concentrato esclusivamente lungo la fascia costiera, in superficie e, subordinatamente, sul fondo, limitato alle acque a salinità molto bassa. Le particelle contenute nel nucleo di acqua dolce sono per la maggior parte inorganiche, con percentuali di frazione litogenica, prevalentemente quarzosa, superiori al 50%; inoltre, esse sono caratterizzate da dimensioni medie superiori rispetto a quelle riscontrate nel mese di febbraio (moda pari a 33 μm). Le acque poco salate sono contraddistinte da una scarsa selezione granulometrica del materiale, per il quale le tipologie spettrali più ricorrenti sono la plurimodale e la bimodale con moda principale grossolana.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Durante le nostre indagini, le acque influenzate dalla *plume* fluviale sono caratterizzate da concentrazioni di materiale sospeso superiori ai 3 mg/l, con i valori medi maggiori misurati in febbraio. Queste acque presentano un materiale sospeso con quantità rilevanti di frazione minerale, principalmente quarzosa, che, in alcuni casi, supera il 50 % della concentrazione totale; il materiale in sospensione è contraddistinto dalla scarsa classazione granulometrica, indicata da tipologie spettrali plurimodali, ricorrenti sia in estate, sia in inverno.

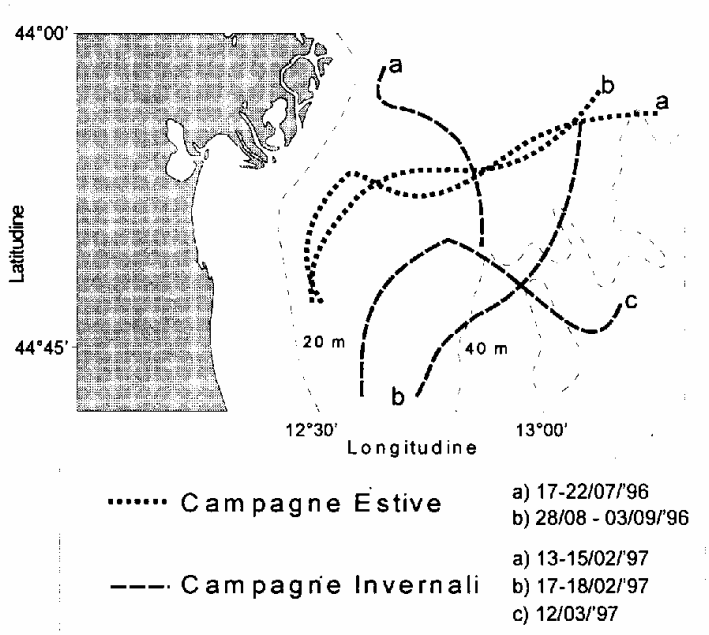


Fig. 6 - Variabilità stagionale dell'area frontale

Nel periodo invernale è stata evidenziata una consistente variabilità delle condizioni fisiche delle masse d'acqua prospicienti la foce del Po nonché della posizione delle aree frontali che si vengono a creare; infatti, come si può osservare in

figura 6, il fronte mantiene un andamento piuttosto costante in estate mentre in inverno la sua posizione subisce variazioni notevoli, anche a breve scala temporale, come suggerisce il brusco cambiamento registrato in febbraio, nell'arco di due giorni.

L'analisi congiunta dei dati fisici e delle caratteristiche del materiale in sospensione ha permesso di delineare le principali direttrici di flusso delle acque di origine continentale, le quali, una volta immesse in mare, seguono tendenzialmente due traiettorie: verso sud, lungo la costa, e verso il largo, in direzione est; durante questi spostamenti, le acque si modificano da un punto di vista fisico e perdono parte del carico sospeso; sedimentano le particelle quarzose e il materiale di grosse dimensioni, con conseguente differenziazione granulometrica del sospeso stesso, che è comunque strettamente legata anche alla presenza di popolazioni *fitoplanctoniche* che possono essere differenti da quelle costiere. La diffusione di queste acque torbide risulta spesso limitata all'orizzonte più superficiale, a causa della stratificazione della colonna d'acqua che è tipica del periodo estivo ma che, in vicinanza della foce, è presente anche in inverno.

Le acque di mare aperto presentano generalmente concentrazioni di sospeso, di natura prevalentemente organica, con valori inferiori ai 3 mg/1; fanno eccezione nuclei ben localizzati, ad alta concentrazione, come quelli riscontrati in febbraio; le particelle, che caratterizzano le acque d'altura, sono generalmente più fini e ben selezionate da un punto di vista granulometrico e quelle di natura litogenica risultano composte in prevalenza da calcite e dolomite. Tali particelle carbonatiche vengono introdotte dai fiumi del nord Adriatico, drenanti le rocce carbonatiche dei bacini imbriferi circostanti e a queste, nel periodo estivo, si vanno a sommare quelle derivate dalla produzione primaria (coccolitoforidi).

BIBLIOGRAFIA

Artegiani A., Bregant D., Taschini E., Pinardi N., Raicich F. & Russo A. 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part I: air-sea interactions and water mass structure. *Journal of Physical Oceanography,* Vol. 27, No. 8: 1492-1514.

Bergamasco A., Arcari G., De Biasio F., Gacic M., Cardin V., Kovacevic V., Ursella L. & Perini L. (in press). Caratteristiche idrologiche e dinamiche della zona adiacente al delta del Po osservate nel periodo 04.02.1997 - 26.03.1997: *PRISMA2 Project Technical Report.*

Bergamasco A., Gacic M., Kovacevic V., Tomini I., Arcari G., De Biasio F. & Carniel S. 1997. Caratteristiche idrologiche della zona adiacente al delta del Po osservate nel periodo dal 17/07 al 10/09/1996 nell'ambito del Progetto PRISMA2, Sottoprogetto Oceanografia. CNR-ISDGM, Venice, *Technical Report n. 216.*

Bergamasco A. & Pierazzo E. 1992. Objective analysis of biochemical data from oceanographic POEM campaigns. Part I-Metodology. *Technical Report 162 (ISDGM-CNR, Venezia).*

Boldrin, A. & Rabitti S. 1992. Suspended matter in the Gulf of Venice (Northern Adriatic Sea): years 1990-1991. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.,* 33: 322.

Krank K. 1980. Variability of particulate matter in a small coastal inlet. *Can. J. Fish. Aquat.Sci.,37:* 1209-1215.

Piccazzo M. & lucci S. 1983 Distribuzione e trasporto di materiale particolato sospeso nei canyons di Genova. *Atti V Congresso AIOL:* 675-690.

Puskaric S., Fowler S.W. & Miquel J.C. 1992. Temporal Changes in particulate Flux in the Northern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* 35: 267-287.

Strickland J.D.H. & Parsons T.R. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada,* 167: 1-311.

Veniale F., Setti M. & Tortelli M. 1987. Influenza delle procedure sui preparati di "polveri" per analisi diffrattometriche a RX. Procedure di Analisi di Materiale Argilloso. *Collana Studi Ambientali:* 135-179.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 55-65, luglio 2000

CARBONIO ORGANICO, AZOTO E FOSFORO PARTICELLATI NELL'ADRIATICO SETTENTRIONALE: DISTRIBUZIONE VERTICALE E VARIABILITÀ' TEMPORALE

Michele GIANI [1], Manuela GISMONDI [1], Fabio SAVELLI [1], Alfredo BOLDRIN [2], Sandro RABITTI [2]

[1] Istituto Centrale per la Ricerca Applicata al Mare, viale Stazione, 5, Chioggia (Ve)
[2] Istituto di Biologia del Mare - CNR, Castello 1364/A, Venezia

ABSTRACT

The particulate organic carbon (POC), nitrogen (PN) and phosphorus (TPP) distribution with depth and temporal variability in three stations of Northern Adriatic Sea are related to the hydrodynamic conditions and to the biological processes. This study quantifies for the first lime the phosphorus associated to the particulate form in the Northern Adriatic. As the investigated coastal area is influenced by freshwaters input from Po and Adige rivers, the primary production is very active, determining high POC, PN and TPP concentrations at the surface. In the offshore waters POC and PN concentrations are about 3-4 less then in the coastal waters, while TPP is up to 10 time lower pointing out a marked phosphorus depletion. In the deep layer the organic matter in the particulate decreases due to the degradation in the sedimentation processes and to the strong density gradients.

RIASSUNTO

La distribuzione verticale e la variabilità temporale del carbonio organico (POC), dell'azoto (PN) e del fosforo particellato (TPP) in tre stazioni del Nord Adriatico viene interpretata in funzione delle condizioni idrodinamiche e dei processi biologici. Questo studio quantifica per la prima volta il fosforo associato al particellato nel Nord Adriatico. Poiché l'area costiera oggetto di studio è influenzata da apporti di acque dolci derivanti dai fiumi Po e Adige, la produzione primaria è molto attiva, determinando alte concenti-azioni di POC, PN e TPP in superficie. Nelle acque del largo le concentrazioni di POC e PN sono circa 3-4 volte inferiori rispetto alle acque costiere, mentre il TPP diminuisce fino a 10 volte indicando un forte impoverimento di questo elemento. Nelle acque più profonde la sostanza organica nel particellato diminuisce come conseguenza sia della degradazione durante il processo di sedimentazione che dei forti gradienti di densità.

1. INTRODUZIONE

Il-particellato in ambiente marino è costituito da organismi viventi e materiale detritico composto da frammenti organici, argille e carbonati sui quali possono essere fissate o adsorbite sostanze organiche, colloidi o metalli (Cauwet, 1978); esso può avere origini autoctone (organismi viventi o equilibri chimici che portano alla formazione di particelle dal carbonio organico colloidale) ed alloctone (apporti fluviali ed eolici). Nelle aree marine costiere poco profonde, parte della sostanza organica particellata (POM) viene trasformata nella colonna d'acqua ed in parte subisce trasformazioni all'interfaccia acqua-sedimento, dove la sua mineralizzazione consuma l'ossigeno disciolto e condiziona i processi di rigenerazione dei nutrienti. Nell'Adriatico settentrionale le concentrazioni di carbonio organico ed azoto particellati nelle acque superficiali sono in relazione con gli effetti degli apporti del Po e con l'abbondanza dei popolamenti fitoplanctonici (Gilmartin & Revelante, 1991). La distribuzione spazio-temporale del materiale particellato in Alto Adriatico è stata in generale poco studiata (Franco *et al.,* 1986; Franco *et al.,* 1989; Boldrin & Rabitti, 1992) mentre maggiori informazioni esistono solo per il golfo di Trieste (Faganeli & Malej, 1981; Fonda Umani *et al.,* 1985; Fanzutti *et al*., 1986; Faganeli *et al,* 1988).

Questo studio prende in considerazione la distribuzione verticale e la variabilità temporale a breve scala del carbonio organico e dell'azoto particellati e per la prima volta per l'Adriatico settentrionale viene quantificato anche il pool di fosforo associato al particellato permettendo di determinare i rapporti C:N:P che caratterizzano il particellato.

2. MATERIALI E METODI

Lo studio, realizzato nell'ambito del programma PRISMA1 "Cicli Biogeochimici e indagini ecofisiologiche", ha riguardato tre stazioni (Fig. 1) poste nell'Adriatico settentrionale, due in prossimità della costa (profondità di circa 20 m) ed influenzate direttamente da apporti fluviali del fiume Po (S1) e dell'Adige (S2), ed una più al largo (S3, profondità di circa 30 m) rappresentativa delle condizioni medie del bacino. Misure di conducibilità, temperatura e profondità (Idronaut Ocean Seven), di trasmittanza (trasmissometro Sea Tech, cammino Ottico 25 cm) e fluorescenza *in situ* (fluorimetro Sea Tech) sono state effettuate lungo la colonna d'acqua in 4 situazioni stagionali (aprile, luglio e ottobre '95 e gennaio '96) per una durata di due giorni con frequenza di campionamento .

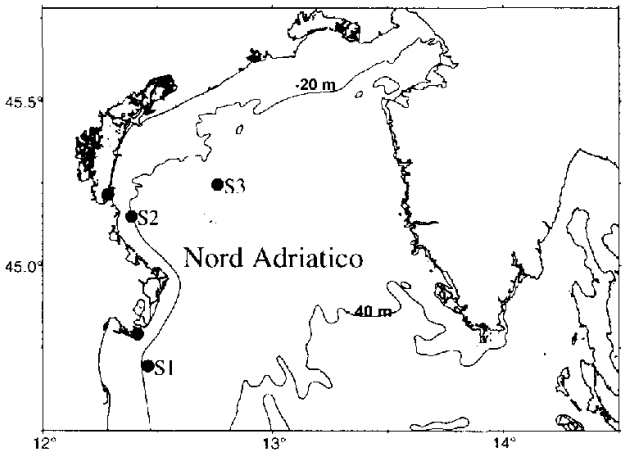


Fig. 1 - Stazioni di campionamento

di 2 ore. Durante lo stesso periodo, campioni d'acqua sono stati raccolti ogni 4 ore a 5-6 profondità mediante bottiglie da campionamento tipo Niskin per la determinazione dell'ossigeno disciolto (metodo Winkler), la stima del seston totale (TSM), del carbonio organico (POC), dell'azoto (PN) e del fosforo totale particellati (TPP). Per le analisi sul particellato sono stati utilizzati filtri in fibra di vetro Whatman GF/F precombusti e prepesati. Il TSM è stato determinato per via gravimetrica (Strickland & Parsons, 1972), il POC e PN mediante analizzatore elementare CHN, previa eliminazione del carbonio inorganico con HC1 (Hedges & Stern, 1984). Il fosforo totale particellato è stato determinato filtrando 4-8 1 d'acqua, estraendo con HC1 IN il campione combusto a 550°C per 4 ore (Aspila *et al*., 1976), e determinando l'analita mediante spettroscopia di emissione atomica di plasma accoppiato induttivamente ICP-AES (Spectro Modula). La riproducibilità dei metodi per le determinazioni di C, N e P, nel range delle concentrazioni misurate, era inferiore al 5%. L'accuratezza nella determinazione di C e P è stata verificata periodicamente sul materiale di riferimento BCSS1 (NRC, Canada).

3. RISULTATI

La presenza costante, nelle aree esaminate, di un evidente aloclino, ha permesso di suddividere i data set relativi ad ogni stazione in acque a bassa salinità (BS) superficiali e ad alta salinità (AS) più profonde (Tab. 1). E' stato così possibile evidenziare il differente contenuto di ossigeno, espresso come consumo apparente di ossigeno, AOU (Apparent Oxygen Utilization), cioè come differenza tra il valore di saturazione e la concentrazione misurata. In gennaio nella stazione S3 la colonna d'acqua è risultata completamente rimescolata (instabile) e caratterizzata da salinità elevate (AS).

Le concentrazioni di POC (Fig. 2) e PN nelle acque costiere (stazioni S1 e S2) mostrano una marcata diminuzione dei valori dalla superficie verso il fondo ed una variabilità temporale, evidenziata delle deviazioni standard, generalmente più ampia nelle acque superficiali. Un ulteriore aumento di concentrazione è presente in profondità in luglio (stazione S2) ed in gennaio (stazione S1), legato alla presenza di uno strato nefeloide di fondo e messo in evidenza anche dalla diminuzione della trasmittanza e dall'incremento del numero delle particelle sospese (Rabitti, *com. pers.).* Le distribuzioni verticali di POC e PN nelle diverse stagioni sono in relazione alla struttura termoalina con intervalli di variazione ampi nelle acque superficiali nel periodo estivo-autunnale. Le differenze nelle concentrazioni di POC e PN tra le due stazioni costiere si possono imputare a variazioni nell'abbondanza dei popolamenti fitoplanctonici ed negli apporti di materiale organico alloctono. Nella stazione S3, in gennaio ed in aprile sono presenti deboli gradienti di concentrazioni di POC e PN decrescenti con la profondità, mentre nei mesi estivi il massimo di concentrazione è sub-superficiale a circa 15-20 m di profondità. Le variazioni temporali di concentrazione di POC sono ampie nel mese di aprile in tutta la colonna, mentre nel mese di luglio le concentrazioni risultano altamente variabili solo in corrispondenza del massimo.

I profili verticali delle concentrazioni di fosforo particellato totale (Fig. 3) sono caratterizzati, sia in S1 che in S2, da massimi in superficie e valori decrescenti verso il

fondo. Nella stazione al largo (S3) la concentrazione di TPP presenta il valore massimo in primavera in superficie e nelle altre situazioni stagionali in prossimità del fondo.

Tab. 1 - Concentrazioni di POC, PN e TPP e caratteristiche idrologiche nelle quattro stagioni. Valori medi e deviazioni standard nelle 48 ore per acque a bassa (BS) ed alta salinità (AS) nelle tre stazioni.

APRILE		T °C	S	AOU µmol l^{-1}	POC µmol l^{-1}	PN µmol l^{-1}	TPP µmol l^{-1}
S1	*BS*	11.3±0.6	33.39±2.78	-26.6±5.6	24.9±9.4	4.0±1.6	0.14±0.07
	AS	10.6±0.4	36.63±0.17	-4.1±18.1	10.1±3.4	1.7±0.5	0.05±0.01
S2	*BS*	10.7±0.9	32.55±4.52	-29.1±10.6	33.2±11.6	5.0±1.9	0.22±0.1
	AS	10.0±0.1	36.58±0.28	7.3±10.3	11.6±6.5	1.7±0.9	0.08±0.03
S3	*BS*	11.5±0.7	36.61±0.60	-7.6±5.3	13.6±6.4	1.5±0.8	0.04±0.02
	AS	10.3±0.2	37.42±0.16	-0.9±3.7	8.5±3.5	1.0±0.3	0.03±0.01
LUGLIO							
S1	*BS*	23.1±2.3	30.95±6.12	-30.4±37.1	26.3±27.2	3.9±4.4	0.11±0.16
	AS	17.4±1.2	36.49±0.48	34.0±53.3	10.7±2.9	1.7±0.5	0.06±0.04
S2	*BS*	22.3±1.5	29.04±6.34	-6.0±21.1	28.6±22.7	4.2±3.1	0.19±0.16
	AS	18.0±1.3	36.16±0.47	41.8±43.5	14.8±9.0	2.2±1.1	0.09±0.12
S3	*BS*	21.0±1.8	34.92±0.47	-7.3±8.2	6.6±1.5	0.9±0.2	0.02±0.01
	AS	13.0±1.4	37.62±0.23	21.8±25.8	12.2±6.5	1.6±0.7	0.04±0.01
OTTOBRE							
S1	*BS*	20.0±0.8	21.85±12.60	-36.5±56.4	53.1±23.9	8.9±3.5	0.63±0.31
	AS	20.0±0.5	36.07±0.47	97.8±47.0	19.7±16.2	3.2±2.4	1.14±0.06
S2	*BS*	18.9±1.0	28.00±7.56	-7.4±15.3	22.0±6.9	3.3±1.0	0.15±0.09
	AS	20.1±0.1	35.64±0.28	21.1±20.8	14.0±2.4	2.1±0.4	0.08±0.03
S3	*BS*	20.0±0.2	35.90±0.32	-8.2±4.7	10.9±1.8	1.5±0.3	0.02±0.01
	AS	17.3±2.2	37.43±0.39	59.8±48.7	12.4±2.7	1.7±0.4	0.03±0.02
GENNAIO							
S1	*BS*	8.7±1.0	26.84±8.53	19.5±10.5	21.1±14.6	2.9±1.6	0.29±0.25
	AS	10.0±0.1	36.87±0.28	29.6±18.5	9.2±10.8	1.0±0.6	0.07±0.04
S2	*BS*	9.0±0.5	30.01±5.44	18.1±23.5	14.6±7.6	1.8±0.9	0.21±0.15
	AS	10.3±0.3	37.38±0.46	12.3±20.0	8.2±3.1	1.0±0.4	0.08±0.04
S3	*BS*						
	AS	11.3±0.1	37.85±0.04	9.4±7.4	7.2±2.0	1.1±0.3	0.05±0.05

I valori medi stagionali evidenziano marcate differenze di concentrazione tra le stazioni costiere e la stazione al largo per lo strato superficiale; mentre per lo strato di fondo tali differenze si attenuano visibilmente. Le concentrazioni medie annue di POC e le percentuali di POC sul TSM nelle stazioni S1 ed S2 (Tab. 2) non sono significativamente differenti tra loro né nelle acque superficiali, né in quelle più profonde. Nella stazione del largo le concentrazioni annuali di POC nello strato superficiale risultano essere circa 1/3 di quelle rilevate nell'area costiera (9.9 µmol/l in S3 contro 30.0 - 25.6 µmol/l nelle S1 e S2). Nello strato profondo le differenze si riducono e i valori di POC sono compresi tra 9.7 e 12.8 µmol/l. La concentrazione media annua di PN in superficie nella stazione SI è significativamente superiore ($p < 0.05$) rispetto a quella della stazione S2 mentre nelle acque profonde le differenze non sono significative.

Le percentuali di PN non differiscono fra loro né in superficie, né in profondità. Anche per l'azoto particellato nella stazione S3 le concentrazioni sono molto minori rispetto a quelle riscontrate sotto costa.

Nelle acque superficiali della stazione S1 anche la concentrazione media annua di TPP è significativamente superiore ($p<0.05$) a quella della stazione S2, mentre nelle acque più profonde non si apprezza una significativa differenza.

Il contenuto percentuale medio annuo di fosforo nelle acque a bassa salinità è superiore in S2 mentre nelle acque profonde i due valori non differiscono significativamente (Tab. 2). Nella stazione S3, la diminuzione del contenuto in P nel particellato è particolarmente evidente: nello strato superficiale sopra l'aloclino la concentrazione media annua risulta essere inferiore di un ordine di grandezza rispetto alle stazioni costiere.

Tab. 2 - Medie annuali e deviazioni standard delle concentrazioni e delle percentuali sul TSM di POC, PN e TPP nelle acque ad alta (AS) e bassa (BS) salinità delle tre stazioni.

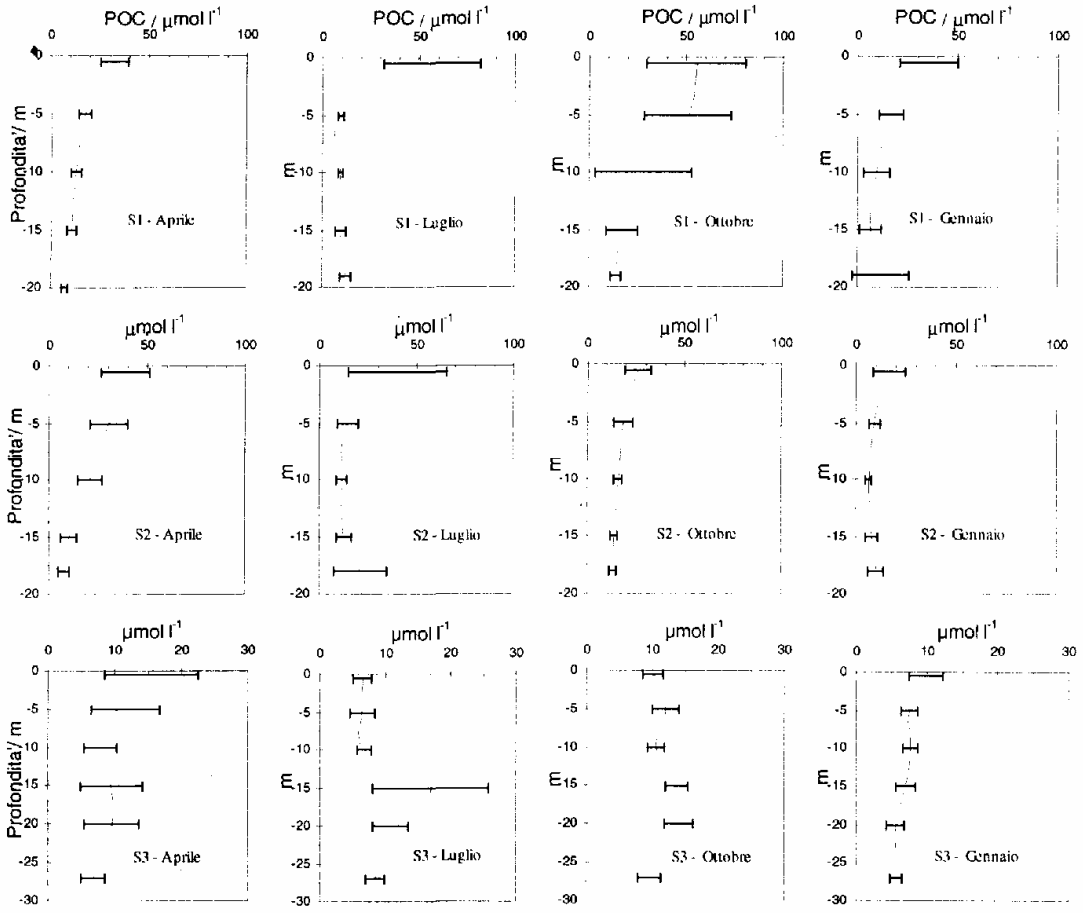
Stazione		POC µmol l^{-1}	POC %	PN µmol l^{-1}	PN %	TPP µmol l^{-1}	TPP %
S1	*BS*	30.0±23.4	7.96±6.16	4.6±3.8	1.39±1.04	0.27±0.28	0.14±0.11
	AS	12.8±11.1	5.50± 3.90	2.0±1.6	1.01±0.76	0.08±0.05	0.09±0.07
S2	*BS*	25.6±15.1	9.44±6.44	3.8±2.2	1.63±1.15	0.19±0.12	0.18±0.15
	AS	12.0±6.4	5.06±4.25	1.7±0.9	0.94±1.26	0.08±0.07	0.09±0.09
S3	*BS*	9.9±4.4	6.94±4.60	1.3±0.6	1.06±0.76	0.02±0.02	0.08±0.07
	AS	9.7±4.5	7.89±7.14	1.3±0.5	1.27±1.15	0.04±0.03	0.07±0.06

4. DISCUSSIONE

La distribuzione della sostanza organica particellata nelle acque superficiali riflette la variabilità degli apporti alloctoni fluviali, particolarmente evidenti nell'area costie-

ra, e le variazioni della produzione primaria. Nell'area costiera la correlazione inversa tra le concentrazioni di POC, TPN, TPP e la salinità ($r = -0.60, -0.62$ e -0.81 rispettivamente; $p < 0.001$) evidenzia l'importanza degli apporti fluviali sia come sorgente diretta di particellato di origine continentale, sia indirettamente come sorgente di nutrienti che alimentano i processi di produzione fitoplanctonica. L'irregolarità degli input fluviali influisce anche sulla variabilità a breve scala temporale nelle concentrazioni di POC, PN e TPP in superficie. La sostanza organica particellata di origine fluviale subisce una consistente diminuzione per processi di diluizione e sedimentazione che hanno luogo alle foci dei fiumi. Le concentrazioni medie annue di POC e PN nelle acque superficiali della stazione SI rappresentano solo il 15 ed il 20 % rispettivamente dei valori medi annui rilevati nel tratto inferiore del fiume Po (Pettine *et al.,* 1998). I contenuti percentuali di POC e PN nel seston sono più elevati nelle acque marine che in quelle fluviali.

Fig. 2 - Concentrazioni medie e deviazioni di POC standard nelle 48 ore nelle tre stazioni.

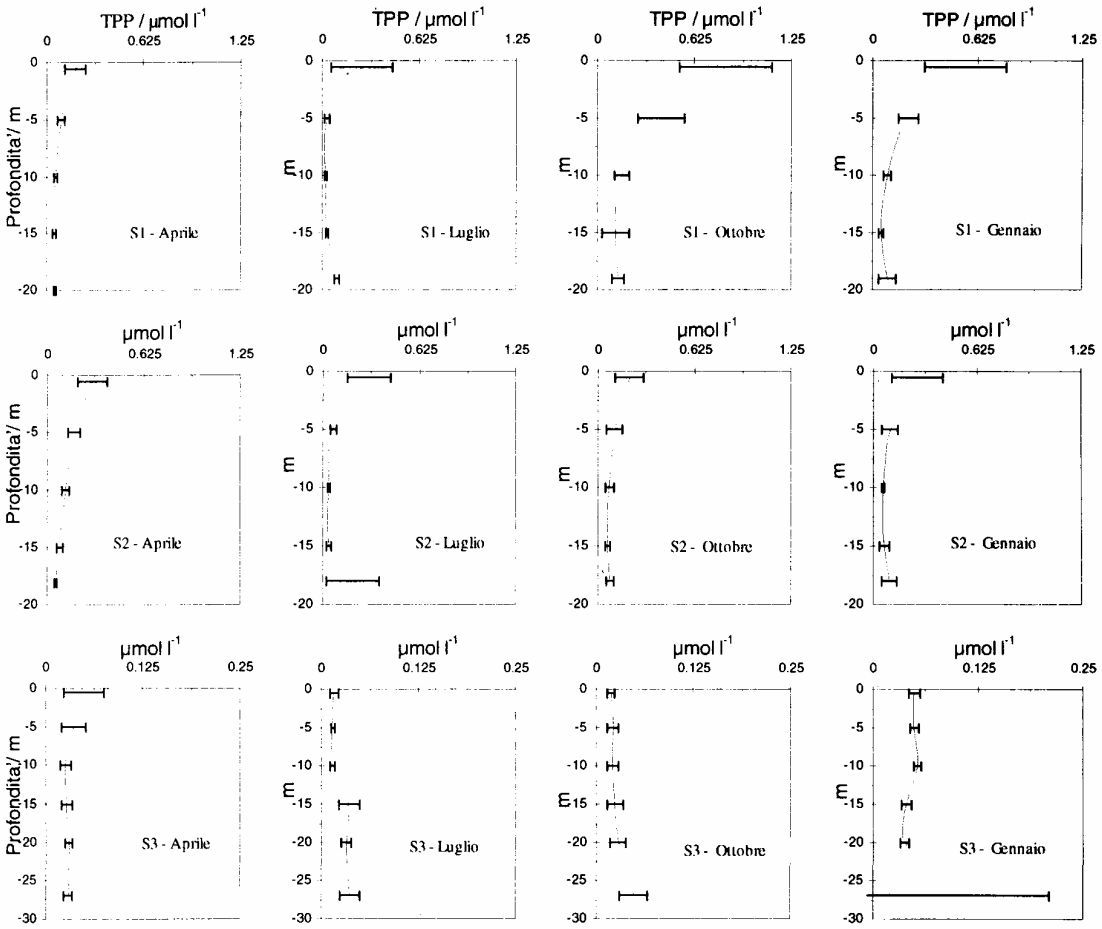


Gli intervalli di variazione delle concentrazioni di POC e PN rilevate nel presente studio risultano comparabili con quelle riportate da Gilmartin & Revelante (1991) e da

Faganeli *et al.* (1989) per le acque superficiali e profonde dell'Adriatico, mentre sono marcatamente superiori rispetto ai valori riportati per il Mediterraneo occidentale (Banoub & Williams, 1972) e per lo Ionio (Rabitti *et al.,* 1994). Per quanto riguarda il fosforo totale particellato, le concentrazioni nelle stazioni costiere sono di circa un ordine di grandezza superiori ai valori riportati per aree oligotrofiche del Mediterraneo sud-orientale (Abdel-Moati, 1990) e nord-occidentale (Copin-Montegut & Copin-Montegut, 1983) mentre concentrazioni confrontabili con queste ultime sono state rilevate nella stazione al largo.

Sia gli apporti di sostanza particellata di origine fluviale che l'assunzione di fosforo da parte del fitoplancton condizionano fortemente il ciclo di tale elemento nelle acque costiere: parte del fosforo particellato, soprattutto quello legato alla frazione organica, può essere rimineralizzato mentre parte sedimenterà sul fondo venendo poi rimobilizzato o seppellito. L'area influenzata dagli apporti fluviali dell'Adige presenta concentrazioni di sostanza organica particellata elevate e dello stesso ordine di grandezza di quelle della zona del prodelta del Po. Questa zona oltre ad essere soggetta ad apporti di sostanza organica alloctona presenta anche un'elevata produzione primaria (Socal, *com. pers.).*

Fig. 3 - Concentrazioni medie e deviazioni standard di TPP nelle 48 ore nelle tre stazioni.



Il contenuto in fosforo del particellato nelle acque costiere risulta elevato ed è notevolmente superiore sia al contenuto del particellato presente nelle acque aperte sia al contenuto di fosforo che si ritrova nei sedimenti poiché tale elemento, oltre ad essere associato al particellato di origine fluviale, viene anche attivamente concentrato dal fitoplancton. I contenuti più elevati trovati, fino a 0.18 %, sono inferiori ai pochi dati riportati in letteratura per l'Adriatico (0.8 % per il golfo di Trieste, Faganeli *et al,* 1988) ed il Mediterraneo (0.28 % nel mare di Alboran, Emelyanov & Shimkus, 1986).

Per identificare la prevalenza dei processi di produzione o di rigenerazione nella colonna d'acqua, i rapporti atomici C:N:P nel particellato (calcolati dalle rette di regressione) sono stati confrontati con i rapporti di Redfield *et al.* (1963) (C:N:P = 106:16:1). I dati di POC, PN e TPP sono stati ordinati in funzione della salinità e suddivisi in base alle percentuali di saturazione dell'ossigeno disciolto (Tab. 3). Nelle acque profonde ad elevata salinità e sottosature, i rapporti atomici sono prossimi al rapporto di Redfield (stazione SI) od inferiori (stazione S2). Nelle acque superficiali a bassa salinità e soprasature di ossigeno della stazione SI i rapporti C:P sono bassi a causa di una concentrazione relativamente più elevata di fosforo, mentre in S2, ed ancora di più in S3, tende ad esserci un deficit di fosforo. Poiché i rapporti C:N in tutte e tre le stazioni sono prossimi al rapporto di Redfield (C:N = 6.6) si può ipotizzare che il fitoplancton rappresenti una componente importante sia nelle acque costiere, ricche di fosforo, che nelle acque del largo, in cui le concentrazioni sono molto basse. I rapporti atomici C:N nell'area costiera aumentano in gennaio sia nelle acque superficiali che in quelle più profonde; tale aumento può essere dovuto alla presenza di particellato a basso

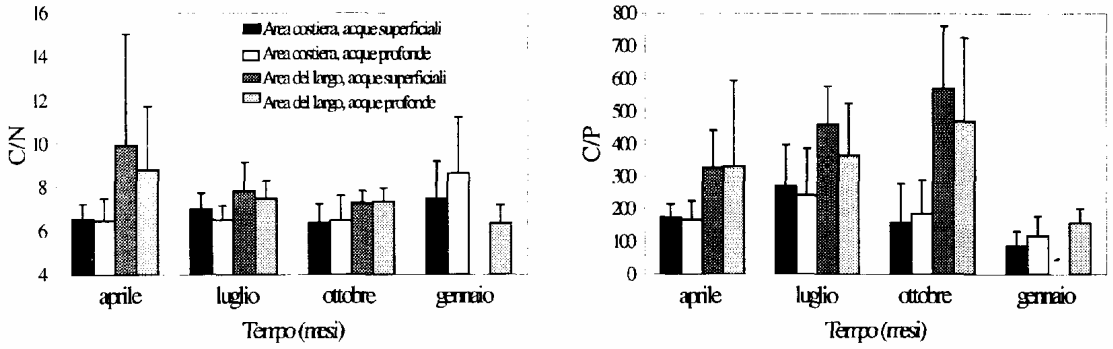
Tab. 3 - Rapporti atomici C:N:P nel particellato sospeso (r = coefficiente di correlazione lineare, n = numero di osservazioni; n.s. = correlazione non significativa).

Tipo di acque	Stazione	C_{org}/N	C_{org}/P	N/P	C : N : P
salinità bassa e soprasature di ossigeno disciolto	S1	6.0	53.4	9.2	53.4 9.2 1
	r	0.960	0.631	0.678	
	n	*74*	*73*	*73*	
	S2	6.7	107.7	16.3	107.7 16.3 1
	r	0.979	0.798	0.825	
	n	*57*	*57*	*57*	
	S3	6.8	203.8	24.9	203 24.9 1
	r	0.870	0.779	0.748	
	n	*92*	*92*	*92*	
salinità elevata e sottosature di ossigeno disciolto	S1	6.4	102.5	13.7	102.5 13.7 1
	r	0.915	0.451	0.420	
	n	*88*	*85*	*84*	
	S2	6.9	69.5	8.1	69.5 8.1 1
	r	0.952	0.775	0.656	
	n	*126*	*125*	*125*	
	S3	7.0	-	-	- - -
	r	0.889	n.s	n.s	
	n	*121*	*121*	*121*	

contenuto in N di origine fluviale, in superficie, ed imputabile a fenomeni di risospensione di sedimento, nelle acque prossime al fondo (Fig. 4). I rapporti C:P ed N:P nelle acque superficiali costiere diminuiscono in ottobre e gennaio principalmente a causa dell'aumento della concentrazione di fosforo particellato di origine fluviale.

Questi stessi rapporti inoltre mostrano un aumento dalla costa verso il largo per la sensibile diminuzione di concentrazione del fosforo rispetto al carbonio organico ed all'azoto (Fig. 4). Il particellato sospeso delle acque aperte è quindi caratterizzato da rapporti C:P più elevati rispetto al rapporto di Redfield (106).

Fig. 4 - Valori medi stagionali e deviazioni standard dei rapporti atomici C/N e C/P nelle acque superficiali e profonde dell'area costiera e del largo.



5. CONCLUSIONI

In tutte le stagioni è evidente, nella zona costiera, un netto gradiente verticale nella distribuzione della sostanza organica particellata e ciò riflette le differenti condizioni fisico-chimiche caratterizzanti le acque superficiali di recente diluizione e quelle sottostanti più dense. Nell'area costiera le concentrazioni medie annuali di POC, TPN e TPP al di sotto del picnoclino raggiungono anche valori pari ad 1/3 di quelli che caratterizzano le acque superficiali; tale riduzione può essere attribuita ai processi idrodinamici dell'area ed ai processi di mineralizzazione della sostanza organica lungo la colonna d'acqua.

La variabilità delle concentrazioni nelle quarantotto ore per le acque costiere risulta quasi sempre condizionata dalle variazioni nella distribuzione dei *plumes* fluviali in superficie e da processi di risospensione o dalla presenza di strati nefeloidi in prossimità del fondo, mentre nelle acque aperte la maggiore variabilità corrisponde, nel periodo di formazione del termoclino stagionale, al massimo di clorofilla subsuperficiale.

Nelle acque superficiali comprendenti la zona eufotica l'elevata biomassa fitoplanctonica ed il detrito organico di origine fluviale forniscono un consistente contributo allo stock di carbonio organico particellato. In profondità il contenuto in carbonio diminuisce a causa della riduzione dell'intensità luminosa, che limita la produzione primaria, e dei processi di degradazione, deposizione differenziata delle particelle sospese e, talvolta, della risospensione di sedimento sul fondo.

Oltre all'area del prodelta padano dal presente studio è risultato che anche il prodelta dell'Adige presenta sempre elevate concentrazioni di sostanza organica particellata indice, anche sulla base dei rapporti C:N che caratterizzano il particellato, di un'elevata produzione primaria.

La riduzione delle concentrazioni di carbonio organico ed azoto particellati, associata al gradiente alino, passando dalle acque superficiali costiere alle acque aperte, arriva al 60 - 70 %, mentre per il fosforo particellato la diminuzione è più consistente (circa 90 %), poiché nella zona costiera avviene sia un efficace utilizzo biologico del fosforo che una sua rimozione attraverso i processi di sedimentazione.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del Programma di Ricerca e Sperimentazione per la Salvaguardia del Mare Adriatico (PRISMA-1)- Tematica "Cicli biogeochimici", grazie al finanziamento del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica. Si ringraziano gli equipaggi delle N/O S. lo Bianco e U. D'Ancona per la valida collaborazione fornita nel corso delle crociere.

BIBLIOGRAFIA

Abdel-Moati A. 1990. Particulate organic matter in the subsurface chlorophyll maximum layer of the southeastern Mediterranean. *Oceanol. Acta,* 13 (3): 307-315.

Aspila K.I., Agemian H. & Chau A.S.Y. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst,* 101: 187-197.

Banoub M.W., Williams P.J. & Le B. 1972. Measurements of microbial activity and organic material in the Western Mediterranean Sea. *Deep-Sea Res.,* 19: 433-443.

Boldrin A. & Rabitti S. 1992. Suspended matter in the Gulf of Venice (Northern Adriatic Sea): years 1990-1991. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 33: 322.

Cauwet G. 1978. Organic chemistry of sea water particulates. Concepts and developments. *Oceanol. Acta,* 1,1: 99-105

Copin-Montegut C. & Copin-Montegut G. 1983. Stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in marine particulate matter. *Deep-Sea Res.,* 30: 31-46.

Emelyanov E.M. & Shimkus K.M. 1986. Geochemistry and sedimentology of the Mediterranean Sea. D. Reidel Pub., 553pp.

Faganeli J., Gacic M., Malej A. & Smodlaka N. 1989. Pelagic organic matter in the Adriatic sea in relation to winter hydrographic conditions. *J. Plankton Res.,* 11: 1129-1141.

Faganeli J. & Malej A. 1981. Carbon and nitrogen in suspended organic matter (particulate and zooplankton) in northern Adriatic during 1979. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 27 (9): 135-138.

Faganeli J., Malej A., Pezdic J. & Malacic V. 1988. C: N: P ratios and stable C isotopic ratios as indicators of sources of organic matter in the gulf of Trieste (northern Adriatic). *Oceanol. Acta,* 11 (4): 377-382.

Fanzutti G.P., Finocchiaro F. & Fonda Umani S. 1986. Variazioni a breve termine dei tenori e delle caratteristiche composizionali del particellato sospeso nelle acque marine presso Aurisina (Trieste). *Atti VII Congresso AIOL:* 241-254.

Fonda Umani S., Fanzutti G.P., Finocchiaro F., Olivotti R., Stravisi F., Gennaro M. & Sichenze S. 1985. Un anno di ricerche sul particellato sospeso in una stazione idrologica del golfo di Trieste: risultati preliminari. *Nova Thalassia,* 7(3): 143-150.

Franco P., Rabitti S. & Boldrin A. 1986. Distribuzione del particellato ed idrologia nell'Adriatico settentrionale. Agosto 1984. *Atti VII Congresso AIOL:* 283-294.

Franco P., Rabitti S. & Cioce F. 1989. Adriatico settentrionale in condizioni di stratificazione. 2. Distribuzione del materiale sospeso e delle proprietà ottiche (1983-1984). *Boll. Oceanol. Teor. Appl.,* N.S.: 77-87.

Gilmartin M. & Revelante N. 1991. Observations on particulate organic carbon and nitrogen concentrations in the northern Adriatic sea. *Thalassia jugosl.,* 23: 39-49.

Hedges J.I. & Stern J.H. 1984. Carbon and nitrogen determination of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.,* 19: 984-989.

Pettine M., Patrolecco L., Camusso M. & Crescenzio S. 1998. Transport of carbon and nitrogen to the northern Adriatic sea by the Po river. *Estuar. Coastal Shelf Sci.* 46: 127-142.

Rabitti S., Bianchi F., Boldrin A., Da Ros L., Socal G. & Tolti C. 1994. Particulate matter and phytoplankton in the Ionian Sea. *Oceanol. Acta,* 17 (3): 297-307.

Redfield A.C., Ketchum B.H. & Richards F.A. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: *The sea,* (Hill, N.M. ed.), vol. 2, Wiley, London: 27-77.

Strickland J.D.H. & Parsons T.R. 1972. A pratical handbook of seawater analysis, *Bull. Fish. Res. Bd. Canada,* vol. 167, 311 pp.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.0.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 67-78, luglio 2000

SEASONAL VARIATIONS IN MACROBENTHIC COMMUNITIES ALONG EMILIA-ROMAGNA COAST (NORTHERN ADRIATIC)

Elena DAELLI[1], Anna OCCHIPINTI AMBROGI[1], Irene SALA[1], Carla FERRARI[2]

[1]Sezione Ecologia, Dipartimento di Genetica e Microbiologia, Università di Pavia
[2]ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia Romagna, Struttura Oceanografica Daphne

ABSTRACT

Macrobenthic communities have been studied for one annual cycle along two coastal zones of the Emilia Romagna region. Four seasonal samples (from July 1996 to May 1997) were carried out along two transects: Porto Garibaldi and Cesenatico, at the depth of 3, 8 and 12/14 m, by a 0.06 m^2 van Veen grab.

The communities found can be defined according to the assemblage classification proposed by the Marseille school. The strong decrease of the total abundance and richness that occurs in almost all stations in autumn and winter is clearly due both to hypoxic/anoxic crises of late sumer and to the cold season that influence the whole area, affecting more drastically some stations.

RIASSUNTO

Variazioni stagionali delle comunità macrobentoniche lungo le coste dell'Emilia-Romagna (Adriatico settentrionale)

Questo studio prende in esame le variazioni di un ciclo annuale delle comunità macrobentoniche di fondo mobile in due zone costiere dell'Emilia Romagna. Sono state eseguite quattro campagne di prelievo stagionali (da luglio 1996 a maggio 1997) mediante benna van Veen di 0,06 m^2 lungo due transetti, rispettivamente in località Porto Garibaldi e Cesenatico, alle batimetriche di 3, 8, e 12/14 m. Le comunità bentoniche presenti alle diverse profondità mostrano strutture biocenotiche riconducibili alla classificazione della scuola di Marsiglia.

Nel corso dell'anno l'abbondanza totale e la ricchezza specifica delle comunità esaminate mostrano drastiche riduzioni autunnali ed invernali legate ai cambiamenti climatici stagionali e agli effetti della crisi distrofica che si è manifestata in tutta la zona, colpendo in modo più drastico alcune stazioni.

1. INTRODUCTION

The Northern Adriatic area considered for this study is placed along the coastal stretch of Emilia Romagna Region between Goro situated in the North, near the Po river Delta, and Cattolica, some 150 km to the South (Fig 1).

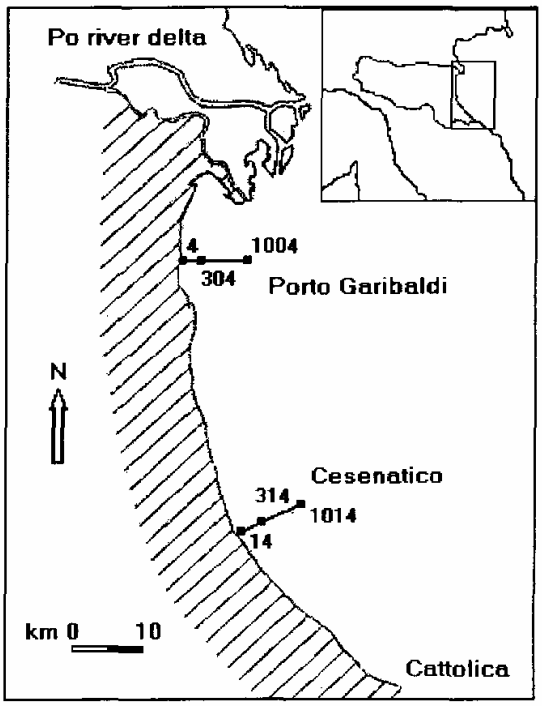


Fig. 1 - Localisation of the sampling stations along the two transects of Porto Garibaldi and Cesenatico.

This area is heavily concerned with eutrophication process that appears related to nutrient-rich freshwater outflows coming from rivers and/or discharges that nourish algae and microbial populations and facilitate their bloom together with abnormal oxygen consumption. This fact, when coupled with adverse meteorological and hydrodynamic events, can generate an anoxic state affecting mainly the bottom water (Vollenweider, 1990). The expanding occurrence of hypoxia and anoxia continues to bring about significant structural changes in benthic communities and to affect benthic-pelagic coupling (Diaz & Rosenberg 1995).

Since 1977 the Marine Research Centre of Cesenatico has been carrying out a monitoring programme of chemical-physical and phytoplankton characteristics over 14 transects placed in front of the Emilia-Romagna shores.

The results achieved so far have brought to a better knowledge of the factors priming dystrophic crises and to the knowledge of the entangled relationship between biological variables and other environmental conditions (Rinaldi *et al.,* 1997).

For the support of the above-mentioned programme and to obtain a more exhaustive evaluation of the effects of dystrophic crises in this area, a research programme on marine benthos has been designed. The object of this work is the analysis of the characteristics of benthic communities along the Emilia-Romagna shores with particular attention to the study of seasonal dystrophic crises effects on benthos community structure and on the life cycle and secondary production of some key species. Coastal benthic populations of the Northern Adriatic Sea are liable to strong seasonal variations that range differently for each depth and for each transect according to the observed variability of salinity, temperature and oxygen concentration (Ambrogi *et al,* 1990).

A description of the structure and spatio-temporal variations of the benthic communities are presented in relation with the sediment characteristics and the main chemical-physical parameters of water.

2. MATERIAL AND METHODS

Four seasonal samples were carried out in July, October 1996, February, May 1997 along Porto Garibaldi (stations 4, 304, 1004) and Cesenatico (14, 314, 1014) transects. The sampling stations were placed respectively at the depth of 3, 8 and 12-14 m and at a distance of 0.5, 3 and 10 km from the coast-line (Fig. 1). Sampling was carried out by the oceanographic vessel Daphne n belonging to the Emilia-Romagna regional Administration. These stations have been selected on the basis of a previous qualitative analysis of benthos communities in the study area and are characterised by different biocoenoses. They are part of the grid stations monitored weekly for the main chemical-physical parameters by the vessel Daphne n.

The two selected transects are located along the Adriatic main current which runs southward, therefore they are differently influenced by trophic load carried by the Po river (Albertelli *et al.,* 1998). In each station, 4 faunal samples were collected together with a sample of sediment for granulometric analysis (Buchanan, 1984) using a 0.06 m^2 van Veen grab. The collected material was sieved through 1 mm size meshes and preserved in a formol seawater solution (10 %).

The Shannon Wiener diversity and the evenness (Pielou, 1975) indices have been calculated for the communities of the six stations during the studied period.

3. RESULTS

In Porto Garibaldi were found 127 taxa, 55 of which were Polychaetes, 34 Mollusca Bivalvia, 13 Mollusca Gastropoda, 17 Crustaceans, 8 belonged to the group named “Others” which comprised Actiniaria, Plathelmintes, Nemertina, Sipunculida, Oligochaeta, Phoronidae, Echinodermata.

In Cesenatico there were a total of 104 species, 41 of which were Polychaetes, 26 Mollusca Bivalvia, 13 Mollusca Gastropoda, 16 Crustacean, 8 “Others”.

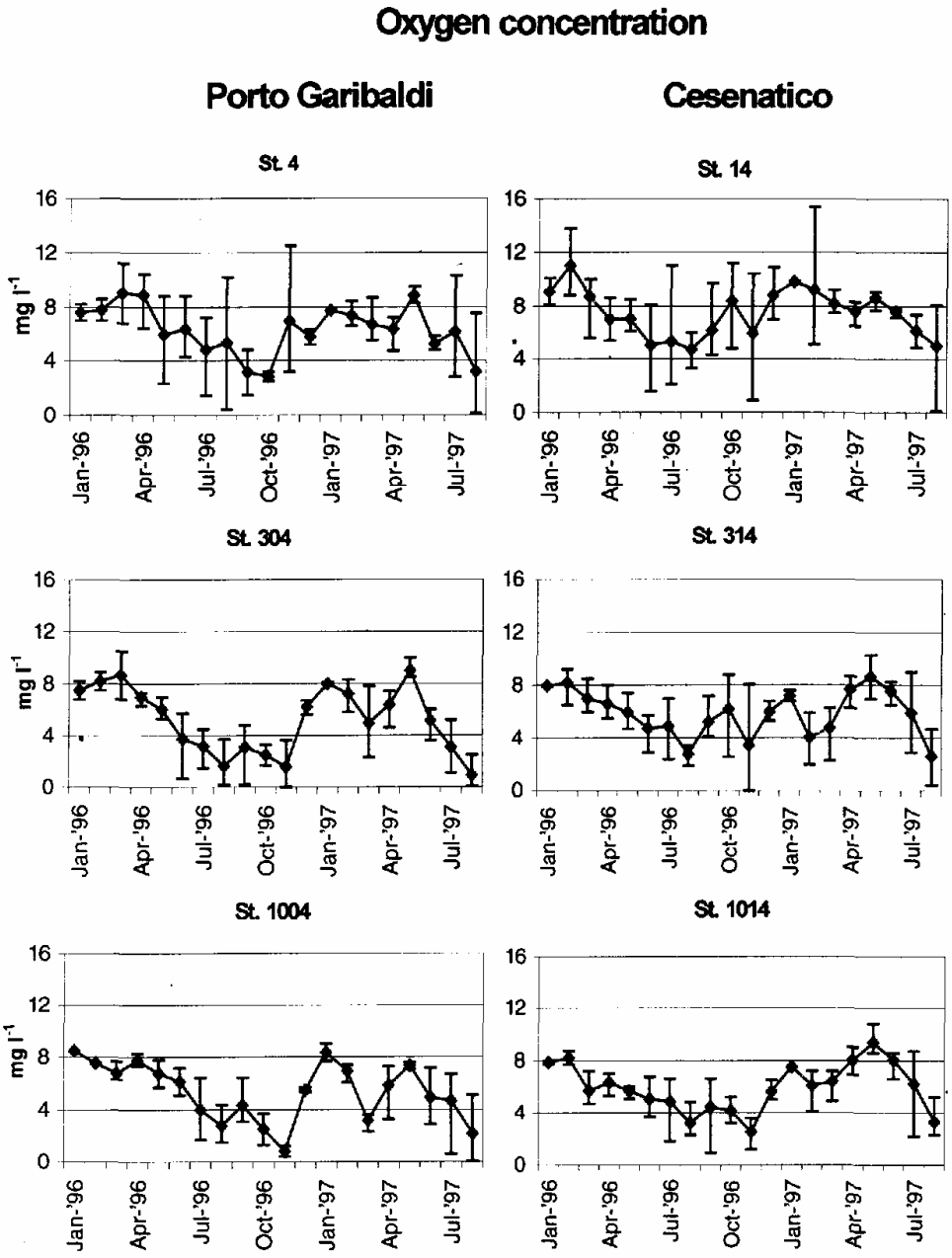


Fig. 2 - Averages, minimum and maximum monthly values of oxygen concentrations at the bottom in the six stations.

3.1. Physical-chemical parameters

In the bottom layer, severe conditions of low oxygen concentration were recorded in almost all stations during summer and autumn (Fig. 2). Some stations were affected more drastically by the hypoxic/anoxic crises such as station 304, 314 and 1004. The mean duration of anoxic conditions in the above stations was 48 hours.

Stations at 3 m depth were characterised by a wide termohaline range: temperature ranged from 5-6 °C to 26 °C and salinity from 13-18 ‰ and 36-37 ‰, with frequent fluctuations due to wave action.

The deepest stations (8 and 12-14 m) showed a lesser variability: temperature ranged from 10 to 23 ^{C}C, while salinity showed a quite Constant trend, with an averaging value, over the study period, of 36 ‰.

According to the Wentworth scale and nomenclature, sediments at 3 m depth was dominated by "very fine sand", while at 8 m depth, the silt fraction increased ranging from "sand" to "silt", depending on the season. At deeper stations the sediment composition is rather Constant with a percentage of sand always less than 6 % (Tabs. 1, 2 and 3).

3.2. Stations at 3 m depth

At this depth, the community is characterised by *Lentidium mediterraneum,* corresponding to the "Fine Sand biocoenosis in very shallow waters" (Pérès & Picard 1964) (Tab 1).

Owenia fusiformis, Prionospio caspersi, Magelona papillicornis, Spio decoratus, Bathyarca philippiana, Chamelea gallina, Spisula subtruncata, and *Donax semistriatus* are also present.

In July '96 at station 4 of Porto Garibaldi *L. mediterraneum* (56,5 %) was the dominant species, and together with *O. fusiformis,* was responsible for the high density value recorded in this season (Tab 1).

As to the following period, Polychaetes gained the dominance in the community with an increasing share. Total density and species richness strongly decreased after the summer period.

The Cesenatico's station in July '96 showed a lower density than Porto Garibaldi's station and a dominance of Polychaetes, well represented by *O. fusiformis* (45 %) and *P. caspersi* (13,8 %).

Starting from February '97, Bivalvia dominated the community thanks to their winter recruitment. The density value was influenced positively at first by the increased number of *P. caspersi* in October '96 and then by the following *L. mediterraneum* recruitment of May '97. Shannon and evenness indexes seemed more affected by the relative abundance of few dominant species rather than the strong autumn and winter decrease of the total abundance and richness (Fig. 3). In station 4 of Porto Garibaldi, both indexes increased their value by the lime *L. mediterraneum* and *O. fusiformis* decreased their abundance (Tab.l). In station 14, on the contrary, index values decreased sharply in relation to the increase of *P. caspersi* in October '96 and of *L. mediterraneum* in February '97 (Tab. 1).

Tab. 1 - Percent composition of Porto Garibaldi and Cesenatico communities at 3 m depth, biocoenosis classification, total abundance, total number of taxa, sediment class and composition.

Porto Garibaldi St. 4					Cesenatico St. 14			
	10 Jul 1996					10 Jul 1996		
Syst. Groups	%	Species	%		Syst. Groups	%	Species	%
Bivalvia	61.44	*Lentidium mediterran.*	56.46		Polychaetes	68.12	*Owenia fusiformis*	44.95
Polychaetes	36.26	*Owenia fusiformis*	28.26		Bivalvia	24.07	*Prionospio caspersi*	13.80
Others	1.57	*Prionospio caspersi*	3.83		Others	4.64	*Chamelea gallina*	10.79
Gastropoda	0.53	*Spisula subtruncata*	2.82		Crustacea	2.68	*Lentidium mediterran.*	6.15
Crustacea	0.2				Gastropoda	0.48		
ind. m^{-2}	**25263±1716**	**SFS Biocoenosis**			ind. m^{-2}	**3319±140**	**SFS Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**63±5**	Very Fine Sand	sand=79%		taxa tot. no.	**38±4**	Very Fine Sand	sand=95%
28 Oct 1996					**28 Oct 1996**			
Syst. Groups	%	Species	%		Syst. Groups	%	Species	%
Polychaetes	58.2	*Prionospio caspersi*	30.51		Polychaetes	61.71	*Prionospio caspersi*	54.20
Bivalvia	39.6	*Owenia fusiformis*	24.75		Bivalvia	37.59	*Lentidium mediterran.*	33.20
Others	1.24	*Lentidium mediterran.*	18.38		Crustacea	0.41	*Magelona papillicornis*	4.25
Gastropoda	0.89	*Bathyarca philippiana*	10.49		Others	0.23	*Donax semistriatus*	3.47
Crustacea	0.07	*Chamelea gallina*	8.79		Gastropoda	0.06		
ind. m^{-2}	**5641±98**	**SFS Biocoenosis**			ind. m^{-2}	**15655±2948**	**SFS Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**32±3**	Very Fine Sand	sand=85%		taxa tot. no.	**23±3**	Very Fine Sand	sand=93%
25 Feb 1997					**25 Feb 1997**			
Syst. Groups	%	Species	%		Syst. Groups	%	Species	%
Polychaetes	67.87	*Owenia fusiformis*	45.10		Bivalvia	94.54	*Lentidium mediterran.*	93.77
Bivalvia	30.87	*Prionospio caspersi*	17.81		Polychaetes	5.21	*Prionospio caspersi*	2.82
Others	0.89	*Lentidium mediterran.*	17.27		Crustacea	0.21	*Magelona papillicornis*	1.65
Gastropoda	0.37	*Bathyarca philippiana*	8.22		Gastropoda	0.05		
Crustacea	0				Others	0.02		
ind. m^{-2}	**4610±283**	**SFS Biocoenosis**			ind. m^{-2}	**13930±721**	**SFS Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**25±3**	Very Fine Sand	sand=88%		taxa tot. no.	**31±4**	Very Fine Sand	sand=92%
13 May 1997					**13 May 1997**			
Syst. Groups	%	Species	%		Syst. Groups	%	Species	%
Polychaetes	77.76	*Magelona papillicornis*	35.36		Bivalvia	87.67	*Lentidium mediterran.*	86.53
Bivalvia	15.79	*Spio decoratus*	16.83		Polychaetes	10.54	*Prionospio caspersi*	5.12
Crustacea	5.68	*Spisula subtruncata*	11.68		Crustacea	1.62	*Magelona papillicornis*	4.73
Others	0.52	*Prionospio caspersi*	10.31		Others	0.15	*Pseudolirius kroyeri*	1.04
Gastropoda	0.26	*Owenia fusiformis*	9.01		Gastropoda	0.03	Cumacea ind.	0.29
ind. m^{-2}	**1533±62**	**SFS Biocoenosis**			ind. m^{-2}	**14427±2158**	**SFS Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**24±3**	Very Fine Sand	sand=80%		taxa tot. no.	**25±2**	Very Fine Sand	sand=94%

3.3. Stations at 8 m depth

The 8 m depth community belonged to the "Well-Sorted Fine Sands" biocoenosis (Pérès & Picard 1964) and was mainly characterised by *O. fusiformis* and *C. gibba,* the latter known as an indicator of sediment instability (Tab. 2). Also present were: *P. caspersi, Lagis koreni, Pseudolirius kroyeri, Phoronis sp., Polydora ciliata,* and *Clymene oerstedi.*

At this depth, both the stations of Porto Garibaldi and Cesenatico showed a quite similar percent composition of the systematic groups during the whole studied period (Tab. 2). The dominant group was that of Polychaetes. For most of the year, it was well represented by *O. fusiformis,* except in February '97, where it was replaced by *P.*

Tab. 2 - Percent composition of Porto Garibaldi and Cesenatico communities at 8 m depth, biocoenosis classification, total abundance, total number of taxa, sediment class and composition.

Porto Garibaldi St. 304			
10 Jul 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	89.59	*Owenia fusiformis*	84.53
Bivalvia	6.84	*Corbula gibba*	5.33
Others	2.89	*Polydora ciliata*	2.39
Gastropoda	0.7	Actiniaria ind.	1.78
Crustacea	0.07	*Lagis koreni*	1.33
ind. m^{-2}	**32584±2401**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**61±8**	Sandy-Silt	silt=53%
28 Oct 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	87.48	*Owenia fusiformis*	82.14
Gastropoda	11.18	*Corbula gibba*	10.44
Bivalvia	1.34		
Crustacea	0		
Others	0		
ind. m^{-2}	**2156±140**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**13±1**	Silt	silt=95%
25 Feb 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	84.11	*Owenia fusiformis*	69.96
Bivalvia	14.14	*Corbula gibba*	12.20
Others	0.99		
Gastropoda	0.38		
Crustacea	0.38		
ind. m^{-2}	**2114±474**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**22±3**	Silty-Sand	sand=51%
13 May 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	44.73	*Owenia fusiformis*	37.89
Others	29.11	*Phoronis* sp.	28.52
Bivalvia	23.08	*Corbula gibba*	17.37
Crustacea	2.53	*Phyllochetopterus* sp.	3.42
Gastropoda	0.55		
ind. m^{-2}	**1462±269**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**23±2**	Sandy-Silt	silt=61%

Cesenatico St. 314			
10 Jul 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	74.9	*Owenia fusiformis*	64.68
Bivalvia	21.18	*Corbula gibba*	19.79
Others	3.08	*Lagis koreni*	6.37
Gastropoda	0.75	Actiniaria ind.	1.81
Crustacea	0.09	*Spisula subtruncata*	0.57
ind. m^{-2}	**21207±2252**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**50±6**	Silt	silt=89%
28 Oct 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	75.19	*Owenia fusiformis*	59.07
Bivalvia	17.98	*Corbula gibba*	12.51
Others	4.99	*Prionospio caspersi*	11.97
Crustacea	1.13	Actiniaria ind.	1.86
Gastropoda	0.71		
ind. m^{-2}	**9191±1763**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**41±6**	Sandy-Silt	silt=56%
25 Feb 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	62.54	*Prionospio caspersi*	24.44
Bivalvia	15.08	*Owenia fusiformis*	12.54
Others	13.17	Sipunculida ind.	8.57
Crustacea	9.21	*Pseudolirius kroyeri*	7.94
Gastropoda	0	*Corbula gibba*	3.33
ind. m^{-2}	**630±54**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**24±1**	Sandy-Silt	silt=64%
13 May 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	45.69	*Owenia fusiformis*	37.02
Others	27.59	*Phoronis* sp.	20.09
Crustacea	13.76	*Pseudolirius kroyeri*	13.70
Bivalvia	12.52	*Corbula gibba*	9.55
Gastropoda	0.43	Sipunculida ind.	4.09
ind. m^{-2}	**6720±121**	**SFBC Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**39±3**	Silt	silt=88%

caspersi. The second most important group was that of the Bivalvia, represented mainly by C. *gibba.* It must be emphasised that in Cesenatico station in the winter and spring there was a notable increase of *Pseudolirius kroyeri* among the Crustacea. Strangely this species, that in February '97 look about the 8% of the whole community, had been reported before to recruit preferentially in summer (Ambrogi *et al,* 1987). In autumn and winter, communities were characterised by a strong mortality and a sudden decrease of the species number. This fact was particularly emphasised in station drastic decrease in its abundance (2150 ± 140 ind. m^{-2}), whereas in July '96 the highest abundance over the whole study period was recorded (32584 ± 2401 ind. m^{-2}).

Stations 304 and 314 showed oxygen concentration respectively of 0.2 and 1.9 $mg.l^{-1}$ in August and both fell to 0.0 $mg.l^{-1}$ in November (Fig. 2). This could be likely the reason of the strong decrease of richness and abundance at these localities.

In spite of the above facts, the values of Shannon and Evenness index calculated for these two stations did not show strong variability along the year. Indeed, as observed before, Shannon and evenness index were mainly influenced by strong dominance of species. Again, station 314 of Cesenatico in February '97 showed high index values in concomitance of a strong biocoenotic crisis (Tab. 2).

Tab. 3 - Percent composition of Porto Garibaldi and Cesenatico communities at 12/14 m depth, biocoenosis classification, total abundance, total number of taxa, sediment class an composition.

Porto Garibaldi St. 1004			
10 Jul 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	78.86	*Owenia fusiformis*	74.56
Bivalvia	18.72	*Corbula gibba*	18.05
Crustacea	1.77	*Maldane glebifex*	1.14
Others	0.45		
Gastropoda	0.2		
ind. m^{-2}	**9880±296**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**47±4**	Silt	silt=91%
28 Oct 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	77.49	*Owenia fusiformis*	70.65
Bivalvia	0.04	*Corbula gibba*	11.45
Gastropoda	0.21	*Ampelisca* sp.	3.59
Crustacea	0.18	*Apohrrais pespelecani*	2.25
Others	0.04	*Phyllochetopterus* sp.	2
ind. m^{-2}	**5207±866**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**36±4**	Silt	silt=94%
25 Feb 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	53.17	*Owenia fusiformis*	46.99
Bivalvia	45.33	*Corbula gibba*	42.77
Others	1.16	*Maldane glebifex*	2.11
Gastropoda	0.34		
Crustacea	0		
ind. m^{-2}	**3556±356**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**21±2**	Silt	silt=93%
13 May 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Polychaetes	49.43	*Corbula gibba*	19.52
Bivalvia	27.59	*Owenia fusiformis*	16.34
Others	13.51	*Phoronis* sp.	13.17
Gastropoda	6.32	*Maldane glebifex*	10.90
Crustacea	3.16	*Aricidea fauveli*	7.72
ind. m^{-2}	**1450±117**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**29±8**	Silt	silt=92%

Cesenatico St. 1014			
10 Jul 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Crustacea	34.31	*Ampelisca* sp.	32.16
Bivalvia	31.18	*Corbula gibba*	27.85
Polychaetes	28.38	*Owenia fusiformis*	17.48
Gastropoda	3.47	*Lagis koreni*	3.02
Others	2.66	*Phoronis* sp.	2.32
ind. m^{-2}	**3576±143**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**48±4**	Silt	silt=98%
28 Oct 1996			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Bivalvia	57.18	*Corbula gibba*	43.53
Polychaetes	32.29	*Sternaspis scutata*	16.83
Crustacea	4.43	*Abra alba*	4.79
Gastropoda	3.64	*Ampelisca* sp.	3.96
Others	2.46		
ind. m^{-2}	**2527±172**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**33±3**	Silt	silt=94%
25 Feb 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Bivalvia	43.46	*Corbula gibba*	31.54
Polychaetes	32.02	*Sternaspis scutata*	14.32
Others	14.9	*Ampelisca* sp.	9.16
Crustacea	9.44	Sipunculida ind.	5.99
Gastropoda	0.28		
ind. m^{-2}	**1452±128**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**28±2**	Silt	silt=96%
13 May 1997			
Syst. Groups	**%**	**Species**	**%**
Bivalvia	74.72	*Corbula gibba*	54.79
Polychaetes	11.65	*Abra prismatica*	11
Others	7.42	*Nucula nitidosa*	5.45
Gastropoda	5.83	*Nephthys hombergii*	5.07
Crustacea	0.38	*Turritella communis*	4.32
ind. m^{-2}	**1064±164**	**FCT Biocoenosis**	
taxa tot. no.	**21±2**	Silt	silt=92%

3.4. Stations at 12-14 m depth

At these depths, biocoenosis composition corresponded to that of the Coastal Terrigenous Muds (FTC) (Pérès & Picard, 1964) (Tab. 3). The most common species here were: *Corbula gibbo* and some mud-dwelling species such as *Sternapsis scutata* and *Ampelisca* sp. Also to be mentioned were: *Maldane glebifex, Aricidea fauveli, Nephtys hombergii, Lagis koreni, Abra* sp., *Nucuila nitidosa, Aporrhais pespelecani, Hyala vitrea, Turritella communis.*

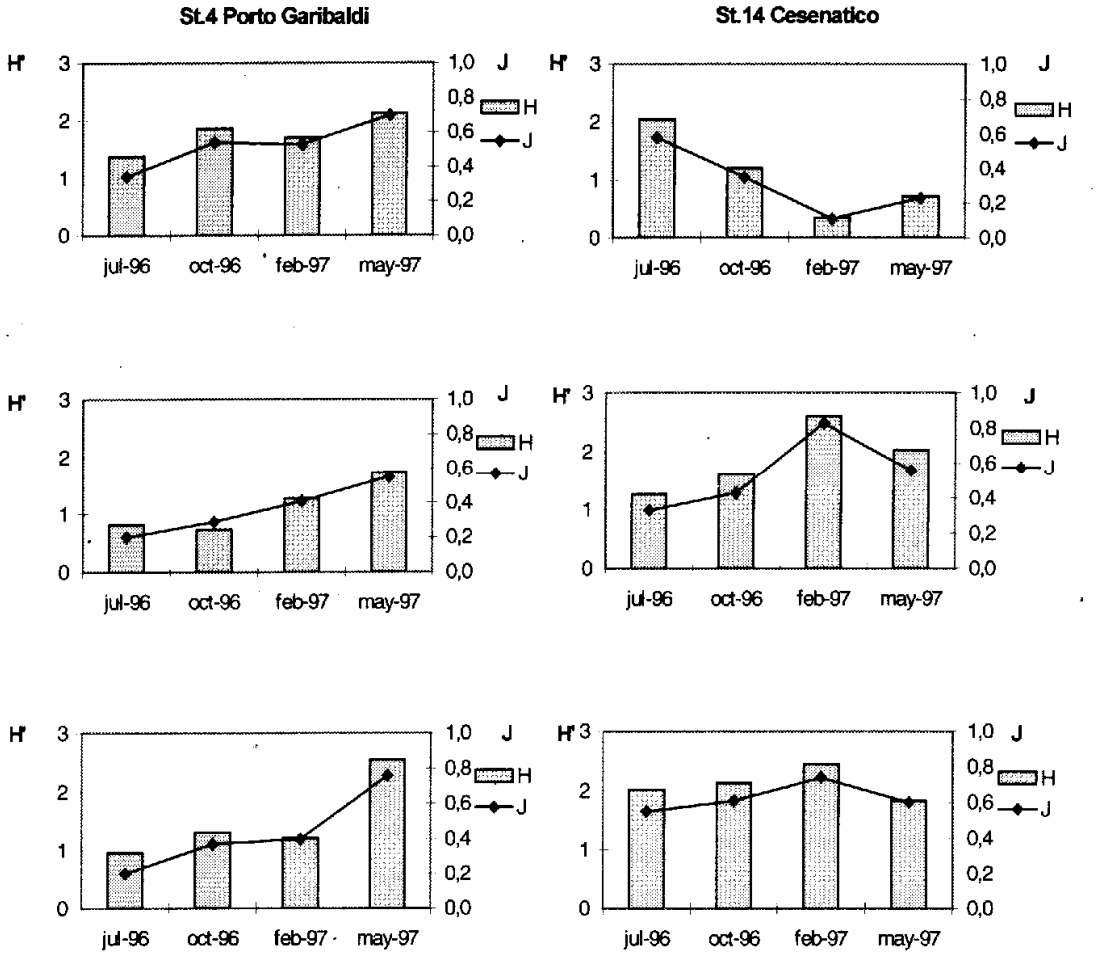


Fig. 3 - Values of diversity index "h" and eveness index "J" in the six stations during the sampling period.

In July, the strutture of the Porto Garibaldi and Cesenatico community showed clear differences (Tab. 3). The Porto Garibaldi's structure community was not different from that found at 8 m depth at the same locality (Tab. 2), whereas in Cesenatico it showed a more homogeneous distribution. The latter was characterised by the presence of *Ampelisca* sp. with 32%, *C. gibba* (27.9 %) and *O.fusiformis* (17.5 %).

Along the year, Cesenatico community evolved to a Bivalvia dominance mainly due to *C. gibba* representing the 54.8 % of all community in May '97. Porto Garibaldi community did not show strong dominances of species within each systematic group.

It should be noted the Constant presence of *O. fusiformis* at station 1004 of Porto Garibaldi and at station 1014 of Cesenatico in summer: this species is not characteristic for the FTC biocoenosis and it is not frequently reported for silty-clay sediments. Yet, *O. fusiformis* can shift from the preferential suspension feeder behaviour to the less advantageous one of deposit feeder, according to hydrodynamic conditions (Gambi, 1989) and can therefore adapt itself to a wide range of environmental conditions. At this depth, temporal variability of total abundance and richness was narrower than in shallower stations. Nevertheless, both stations showed a Constant and linear decrease of total number of individuals and of species. As to the Shannon and Evenness index, station 1014 of Cesenatico showed higher values than station 1004 of Porto Garibaldi all year long (Fig. 3) due to the higher homogeneity of distribution of individuals among the species.

4. CONCLUSIONS

The examined communities at different depths appeared to be characterised by different compositions and structures. These communities can be referred to the Pérès & Picard (1964) assemblage classification and show a similar spatial distribution to those already described by Parisi *et al.* (1985), Ambrogi *et al.* (1990) in a similar area off the Po river Delta and by Albertelli *et al.* (1998) along the tract of coast between Chioggia and Ravenna (Northern Adriatic Sea).

Polychaetes were prevalent among the systematic groups in most stations and during the whole study period; their numbers were often over the 50% of the whole community. During the year, a substitution in the dominant species and a change in the percent composition of the systematic groups occurred in most stations. This was probably due to the shifted lime of recruitment of each species, according to environmental conditions and sediment characteristics and the consequent pre-acquisition of the empty space by new larvae.

The highest values of total abundance of the macrobenthic communities were in Porto Garibaldi's stations in July ‘96. In particular, the highest density has been recorded at station 304 with 32584 + 2401 ind. m^{-2} (Tab. 2). This fact is likely due to the closer position of Porto Garibaldi stations to the Po River Delta (Fig. 1) and the consequent higher influence of its trophic loads (Ambrogi *et al,* 1990; Albertelli *et al.,* 1998).

The strong decrease of abundance and richness indexes that occurred in almost all stations in autumn and winter was clearly due to the cold season coming, as some rare and occasional species owe their settlement to the favourable and temporary climatic conditions of the summer period (Ambrogi *et al,* 1990).

Also the summer hypoxic/anoxic crises that affected mainly station 304 and 314 (Fig. 2) could have determined the strong mortality in this benthic communities. In

particular, at station 304 (Tab. 2), sediment instability seemed to have acted in synergy with the above causes to produce the described negative effects on the community.

The drastic biocoenotic crisis occurring in February at station 314 in Cesenatico could be explained by the completely anoxic state occurred in this area in November '96. Nevertheless the sudden spring restoration of the most important species of this community suggests that the cause may be easier to be found in a stochastic and punctual event.

Values of the Shannon and Evenness index seemed to be more influenced by strong dominances of few species that made these values lower even in the presence of high values of species richness (Fig. 3). On the contrary, a more homogeneous distribution of individual among species resulted in a comparatively very high diversity value.

As a whole, the results obtained to date allowed for a better knowledge about the structural characteristics and seasonal variations of the benthic communities of this tract of coast, and to the knowledge of the abiotic characteristics of this area.

A deeper analysis of size-structure and biomass of some key species such as *O. fusiformis, C. gibba, P. caspersi e L. mediterraneum* should be performed in order to discriminate the specific causes producing structural variations in the examined communities.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been carried out as a part of a National Program (40% MURST). The Authors wish to thank Dr. Virginio Sarto, responsible of the "Quality Control Laboratories of BASF Italia S.p.a.", for his valuable technical support in the sediment analyses.

REFERENCES

Albertelli G., Bedulli D., Cattaneo-Vietti R., Chiantore M., Giacobbe S., Jerace S., Leonardi M., Priano F., Schiapparelli S. & Spanò N. 1998. Trophic features of benthic communities in the northern Adriatic sea. *Biol. Mar. Medit.,* 5 (1): 136-143.

Ambrogi R. Bedulli D. & Fontana P. 1987. Raccolta dei dati sul macrobenthos marino nella zona antistante la centrale di Porto Tolle. Fase pre-operazionale 1979-1982. *Rel. ENEL-CRTN E4/87/03/Mi.*

Ambrogi R., Bedulli D. & Zurlini G. 1990. Spatial and temporal patterns in structure of macrobenthic assemblages. A three-year study in the Northen Adriatic sea in front of the Po river delta. P. S. Z, N. I: *Marine Ecology,* 11 (1): 25-41.

Buchanan J.B. 1984. Sediment analysis. In: Methods for the study of marine benthos, (Holme N.A. & McIntyre A.D. eds). 2nd Ed., Blackwell Sci. Publ., Oxford: 41-65.

Diaz RJ. & Rosenberg R. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. mar. Biol,* 33: 245-303.

Gambi M.C. 1989. Osservazioni su morfologia funzionale e comportamento trofico di *Owenia fusiformis* delle Chiaje (Polychaeta,. Oweniidae) in rapporto ai fattori ambientali. *Oebalia,* 15(1): 145-155.

Parisi V., Ambrogi R., Bedulli D., Mezzadri M.G. & Poli P. 1985. Struttura e dinamica dei popolamenti bentonici negli ambienti sedimentari del Delta Padano. *Nova Thalassia, 7,* Suppl. 2: 215-251.

Pérès J.M. & Picard J. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Mediterranee. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume,* 31: 1-137.

Pielou E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley Interscience, New York, 165 pp.

Rinaldi A., Montanari G., Ghetti A., Ferrari C.R. & Mazziotti C. 1997. Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna. Regione Emilia-Romagna: *Rapporti annuali i 996.* Assessorato Territorio, Programmazione e Ambiente. ARPA - Emilia-Romagna, 234 pp.

Vollenweider R.A. 1990. Coastal marine eutrophication: principles and contrai. In: *Marine Coastal Eutrophication* (Vollenweider R.A., Marchetti R. & Viviani R. eds.). Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy, 21-24 March 1990: 1-20.

Lavoro presentato al XIII Congresso A. I. O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 79-98, luglio 2000

SEDIMENTAZIONE RECENTE SUL PRISMA COSTIERO DEL MOLISE (ADRIATICO CENTRALE)

Giovanni Paolo FANZUTTI, Ioanna PROTOPSALTI

Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine - Trieste

ABSTRACT

The sedimentological distribution of sea-bottom sediments collected on the coastal wedge of Molise (Central Adriatic Sea) was examined. During the oceanographic cruise of the Consiglio Nazionale delle Ricerche (PRISMA 2 project), in October 1997 fifty-two samples were taken with a Van Veen grab at depths ranging from 5 to 50 m. The marine area includes 51 km of coast line between the Trigno and Fortore river mouths and a 15 km belt extended seaward. The fluvial supply are negatively balanced as regards to the actual energetic littoral regimen. In fact, a general withdrawal of the beach is ascertained, caused by a general decrease of river suspended load.

The investigated offshore area shows a textural facies distribution with a mean size trend decreasing towards the open sea. It is conditioned by the wave motion and the littoral current regimen. The wide inner shelf is characterized by pelitic sand and very sandy pelite. Deeper than 50 m pure pelitic sediments point out the influence limit of the offshore currents.

Cluster analysis of sandy and pelitic fractions testifies the sedimentary dynamic of high and low energy textural main-components. In particular the study of the pelitic fraction permits to define the spreading into the sea of the river plumes up to 10-15 km from their mouths.

The distribution map of pelite points out accumulation areas of mainland-coming substances, with probable concentration of nutrients and human contaminants related to the fine sedimentary fraction.

RIASSUNTO

Si esamina la composizione tessiturale di 52 campioni di sedimento di fondo prelevati sul prisma costiero Molisano fino all'isobata di 50 m. Da riva verso il largo viene verificato lo stile di sedimentazione per bande subparallele alla costa, ben noto nell'Adriatico centrale, ove la sedimentazione è condizionata dal molo ondoso e dal regime delle correnti litorali. L'estremo limite di influenza verso terra del sistema delle correnti del largo viene segnalato dalle peliti attorno alla batimetrica -50 m.

Lo studio, basato sulla *cluster analysis* delle frazioni sabbiosa e pelitica, evidenzia numerosi dettagli della sedimentazione costiera. In particolare, la distribuzione della frazione fine permette la ricostruzione dell'espansione media a mare delle *plumes* fluviali, estesa fino a 10-15 km dalla foce.

1. INTRODUZIONE

Viene presentata una elaborazione ed una interpretazione di parte dei dati tessiturali su campioni di sedimento di fondo acquisiti nella crociera Mo.Ga.Tre. (acronimo per Molise, Gargano, Tremiti) effettuata nell'ottobre 1997 nell'ambito del Progetto C.N.R. PRISMA 2 - Sottoprogetto 3. Fino all'isobata di 50 m, lungo 8 tran setti, il più possibile ortogonali alla linea di riva, in 52 stazioni è stato campionato con benna il prisma costiero molisano dal Golfo di Vasto (foce del F. Trigno) alla foce del F. Fortore. Integrano il campionamento quattro stazioni (St. A, B, C, D) visitate l'anno successivo (Fig. 1). I fondali molisani non risultavano del tutto privi di dati sedimentologici, in quanto marginalmente coinvolti in due studi (AA.VV. 1986 e 1989), ma proprio perché solo "sfiorati" difettavano ancora di uno studio di dettaglio.

La ricerca si propone di ricostruire alcuni modelli di dispersione sedimentaria che, oltre a qualificare i caratteri tessiturali dei sedimenti attuali del prisma costiero, evidenzino anche la risultante delle condizioni idrodinamiche medie di un ambiente fortemente condizionato dagli *input* terrigeni provenienti dall'entroterra, dal moto ondoso e dalle correnti costiere.

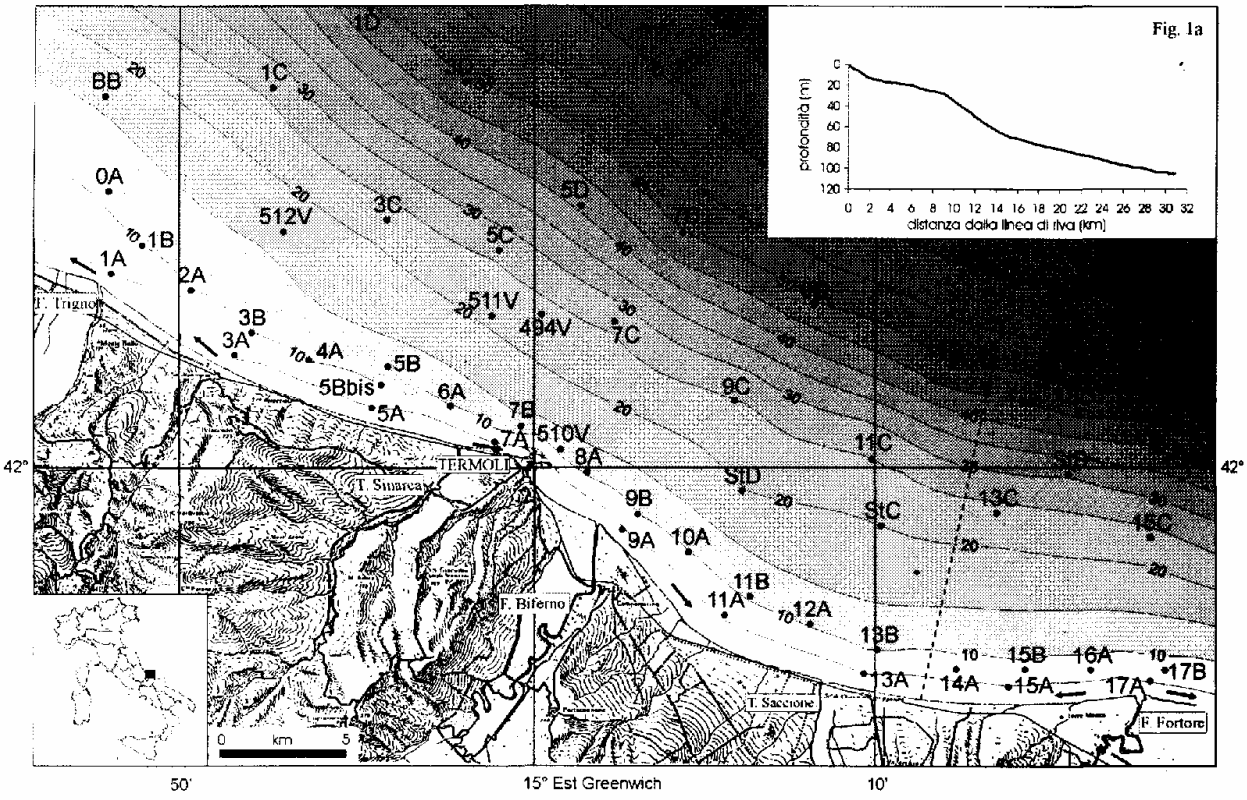


Fig. 1 - Batimetria ed ubicazione delle stazioni di campionamento. Le frecce indicano il verso del trasporto solido netto lungo riva. Il profilo batimetrico in Fig. 1a (traccia a tratteggio) evidenzia la superficie del prisma costiero. Base desunta dalla Carta I.I.M. n° 33, ridotta e modificata.

Il campionamento, finalizzato allo studio quantitativo delle biocenosi bentoniche, risultava rigidamente predeterminato per spaziatura dei transetti (circa 6 km) e per profondità di prelievo (5, 10, 25 e 50 m). Tra due transetti successivi veniva intervallata una stazione singola, posta sul fondale di 10 m. Dovevano inoltre essere rivisitate alcune stazioni effettuate da Vatova nel 1949, identificabili in Figura 1 da uri numero seguito dalla lettera "V".

Se da un lato queste esigenze non hanno permesso la risoluzione di alcuni dettagli sedimentologici, specie in prossimità delle foci fluviali, dall'altro hanno avuto l'indub bio vantaggio di discretizzare la "potente" variabile batimetrica, rendendo agevole il confronto tra i parametri sedimentologici di campioni prelevati entro intervalli batimetrici ristretti.

2. L'ENTROTERRA MOLISANO

Dal punto di vista altimetrico, la superficie del Molise è rappresentata per 55% da zona montuosa e 45% da zona collinare, ripartibile quest'ultima in collina interna (32.2%) e collina litoranea (12.8%). Le scarsissime zone pianeggianti sono limitate agli apparati deltizi dei suoi principali fiumi.

Dalla linea spartiacque verso l'Adriatico, agli ultimi termini calcarei dei massicci mesozoici abruzzesi seguono subito le coltri paleogeniche flyschoidi del Subappennino. Ad esse succede l'ampia fascia del complesso delle Arginiti Varicolori caotiche, sormontate dalle Unità Irpine mioceniche, rappresentate prevalentemente da flysch, molasse, marne argillose ed argille (Baldoni *et al.,* 1963; Bergomi & Valletta, 1968; Boni *et al,* 1969; Di Nocera *et al.,* 1988; Corrado *et al.,* 1998; Sgrosso, 1998). La fascia collinare litoranea è costituita dai depositi della Fossa Bradanica, termini plio-pleistocenici rappresentati prevalentemente da argille a cui superiormente si sovrappongono sabbie e conglomerati di chiusura del ciclo regressivo (Casnedi, 1988). Una siffatta litologia conferisce all'intera regione molisana una "morfologia a rilievi arrotondati e di mediocre altezza, facilmente erodibili e scalzati alla base da fenomeni, talora imponenti, di degradazione meteorica" (Fondi, 1970).

L'erosione accelerata, sia calanchiva sia per frana (diffusissime sono le "lame" e le colate di fango) costituisce un serio ostacolo allo sviluppo degli insediamenti e della viabilità molisani. Non ne sono immuni le vallate dei fiumi principali né, soprattutto, quelle dei loro affluenti. Concorre ad esaltare il dissesto erosivo l'intervento antropico (Mercuri & Rizzo, 1980).

I tre principali fiumi molisani (Trigno, Biferno e Fortore) percorrono lunghe e dritte valli, trasversali al sistema appenninico; se osservati a grande scala, nel tratto montano e-medio essi tuttavia presentano percorsi tortuosi con letti ampi ed inghiaiati, frequentemente ristretti in tratti vallivi angusti. In corrispondenza della stretta poco a Nord di Colletorto, negli ultimi anni '60, il F. Fortore è stato sbarrato per contenere il lago artificiale di Occhito, che sottende un bacino imbrifero di oltre 1000 km^2. Ancora più recente è il lago artificiale di Guardialfiera conseguente allo sbarramento del F. Biferno presso Ponte Liscione.

Nel loro basso corso i fiumi terrazzano ampie vallate, entro i terreni erodibili delle formazioni plio-pleistoceniche, e sfociano a mare con delta debolmente arcuati. L'anda-

mento delle isobate di 10 m (carta I.I.M. n° 33) sottolinea l'espansione a mare dei loro apparati deltizi.

Alcuni valori dei principali parametri idrotorbidometrici dei fiumi molisani, desunti da più autori (Fondi, 1970; Grauso, 1986; Simeoni, 1992) e relativi a differenti periodi di rilevamento (comunque sempre antecedenti agli interventi di sbarramento dei loro corsi), sono riassunti in Tabella 1.

Attraversando terreni poco permeabili o francamente impermeabili, il regime dei fiumi risente marcatamente delle variazioni stagionali delle piogge. Le portate sono molto irregolari, con magre estive lunghe e molto pronunciate e con piene invernali anche consistenti.

Giungono a mare inoltre alcuni corsi d'acqua secondari tra cui i T. Tecchio e T. Sinarca e il maggiore d'essi, il T. Saccione, lungo circa 30 km. Poiché i loro bacini si impostano unicamente sui terreni plio-pleistocenici della fascia collinare litoranea, compresa tra le isoiete annue di 600 e 700 mm, essi presentano portate molto irregolari.

La frazione sabbiosa dei sedimenti fluviali è prevalentemente quarzoso-feldspatica e carbonatica mentre in quella argillosa prevalgono le smectiti e cloriti.

Tab. 1 - Valori di alcuni parametri idrotorbidometrici dei principali fiumi molisani.

	F. Trigno	**F. Biferno**	**F. Fortore**
Periodi di rilevamento	1923-38 1940-42 1946	1935-42 1948-50 1953-70	1935-42 1951-56 1958-62
Superficie totale del bacino (km^2)	1199	1311	1687
Lunghezza dell'asta principale (km)	85	93	86
Portata media annua (m^3/s)	7	18	13
Portata max. (m^3/s)	202	862	513
Portata min. assoluta (m^3/s)	0.20	1.30	0.00
Deflusso annuo (mm)	-	441.5	364
Afflusso annuo (mm)	-	982	825.4
Coefficiente di deflusso	-	0.45	0.44
Carico solido max. sospeso (g/dm^3)	-	29.5	91.4
Carico solido medio sospeso (g/dm^3)	-	2.61	3.76
Deflusso torbido unitario annuo (t/km^2)	-	1090	1370

3. LA COSTA DEL MOLISE

La costa si presenta bassa, ad eccezione della tratta compresa tra la stazione ferroviaria di Petacciato-Montenero e il promontorio di Termoli. Qui si innalza una falesia di parecchi metri in terreni argillosi e sabbiosi pliocenici, costituiti dalle formazioni delle Argille di Montesecco, delle Sabbie di Serracapriola e dei Conglomerati di Campomarino (Bergomi & Valletta, 1968; Boni *et al.,* 1969). I litorali sono prevalentemente sabbiosi, scarsamente ghiaiosi in corrispondenza della costa alta e delle foci dei principali fiumi. La costa bassa è bordata da cordoni di dune antropizzati, che si

articolano in più sistemi tra le foci del T. Saccione e del F. Fortore (Coltellacci *et al.,* 1985; Girardi & Parca, 1985) oggetto di recenti studi (Simeoni *et al.,* 1999).

La dinamica dei litorali è stata ricostruita nell'attento lavoro di Girardi (1981) confrontando su cartografia storica l'andamento della linea di riva. Nel periodo 1869-1957 viene riconosciuta una propensione al generale avanzamento o stazionarietà della linea di riva molisana; l'anno eccezione i ristretti ambiti degli apici deltizi, ma contemporaneamente si manifesta un'ampia ridistribuzione dei sedimenti lungo le ali dei delta: prevalentemente verso Nord al F. Trigno e F. Fortore, verso Sud al F. Biferno. Negli anni '60 e '70 tutta la costa propende all'arretramento (Parca, 1978; Giorgi *et al.,* 1984), a luoghi piuttosto rapido, come per esempio alla foce del F. Biferno. Negli anni '80 e '90 l'arretramento della linea di riva continua, benché con minore velocità (Simeoni *et al,* 1999).

E' parere unanime dei sopracitati Autori che il generale fenomeno di arretramento sia imputabile al diminuito apporto solido al mare dall'entroterra, acuito da locali interventi antropici sullo spazio costiero, i cui litorali sono orientali parallelamente alla direzione di provenienza dei venti di massimo *fetch:* da NW e da SE. Benché la diminuzione del trasporto torbido dei fiumi tra il periodo prebellico e l'attuale sia un fenomeno globale, stimato per l'intera Italia nell'ordine di 40%, (Vittorini, 1991), nella regione qui considerata il fenomeno è ancora più sensibile a causa dei molteplici interventi sulle aste fluviali e, soprattutto, degli sbarramenti artificiali del F. Biferno e del F. Fortore. Si ha ragione di ritenere che il trasporto solido, naturalmente elevato nei fiumi molisani, sia sensibilmente diminuito, analogamente a quanto riscontrato nel F. Ofanto (Simeoni, 1992). La diminuzione del carico solido non è tanto imputabile alle variazioni di piovosità o alle diminuzioni delle portate medie liquide dei fiumi, quanto alle loro portate di piena, drasticamente laminate dagli invasi artificiali. Infatti è riconosciuto che gli eventi di piena sono responsabili della mobilizzazione sino a 90% del carico solido totale. In aggiunta l'invaso sottrae in modo permanente dal carico solido le frazioni ghiaiose e sabbiose, fondamentali per il ripascimento dei litorali.

4. IL PRISMA COSTIERO MOLISANO

L'area marina considerata in questa nota sottende 51 km di costa compresa tra la foce del F. Trigno e la foce del F. Fortore. Di questi, 38 km corrispondono all'intera costa del Molise, il cui confine amministrativo meridionale è rappresentato dal T. Saccione; gli ultimi 13 km ricadono nella regione Puglia (Fig. 1).

L'area si colloca in due differenti unità fisiografiche, separate dal promontorio di Termoli: il primo tratto per 19 km appartiene al Golfo di Vasto mentre il secondo ricade, per 32 km, nell'unità compresa tra Termoli e le radici settentrionali del Gargano.

Per prisma costiero (Fig. la) si intende quel risalto morfologico sul quale prevalgono attualmente processi di sedimentazione terrigena per lo più condizionati dall'idrodinamica costiera. Esso comprende la spiaggia sottomarina, la piattaforma interna e la modesta rottura di pendenza che raccorda quest'ultima con i fondali della piattaforma esterna. Alcune sezioni sismiche ad alta risoluzione interessanti il prisma costiero dell'area in esame, e di quelle ad essa prossime, sono riportate in Savelli *et al.*

(1990), lavoro in cui viene .ricostruita la successione degli stadi evolutivi che lo hanno modellato nel tardo Quaternario.

Dal punto di vista morfologico il prisma costiero si riconosce fin poco oltre l'isobata 70 m, per una estensione minima di 14.5 km e massima di 20 km dalla linea di riva. La sua differente espansione a mare è immediatamente percepibile dall'andamento dell'isobata 50 m sulla carta I.I.M. n° 33.

Più nel dettaglio, la spiaggia sottomarina indicata a barre e truogoli, sulla base della cartografia I.I.M., ha una pendenza crescente e variabile da 0.8%, nel Golfo di Vasto, a 1.2%, presso Termoli. Quindi essa si addolcisce bruscamente sino a 0.5% alla foce del F. Biferno per poi riportarsi a 0.7% sull'ala sinistra del F. Fortore (Coltellacci *et al,* 1985; Girardi & Parca, 1985). Il verso del trasporto solido netto lungo riva è indicato dalle frecce in Figura 1.

La piattaforma interna, approssimativamente compresa tra le isobate 10 e 30 m, assume, nell'unità fisiografica settentrionale, una pendenza variabile da un minimo di 0.22%, al largo del F. Trigno, ad un massimo di 0.30% al traverso di Termoli. Nell'unità meridionale la sua pendenza si attenua sino al valore di 0.23%, presso la falcatura di Campomarino, e quindi si riporta a 0.28% al largo del F. Fortore.

La piattaforma interna si raccorda con i fondali del largo per il tramite di una seconda scarpata (compresa fra 30 e 70 m circa) che presenta un aumento regolare e progressivo di pendenza dalla foce del F. Trigno (0.53%) a quella del F. Fortore (0.71%).

5. METODI

Il campionamento dei fondali marini è stato eseguito con benna Van Veen classica, di circa 10 dm^2 di superficie mordente e provvista di sportelli: ciò ha permesso l'osservazione della superficie del sedimento ed una subcampionatura contenuta entro i primi 5-6 cm.

Le analisi granulometriche sono state eseguite nel laboratorio di sedimentologia del Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste. La frazione sabbiosa (2000-50 μm) è stata analizzata con bilancia di sedimentazione Macrograno-meter, mentre quella pelitica (<50 μm) con Sedigraph 5000 ET della Micromeritics. I dati delle singole frazioni sono stati elaborati sia separatamente, sia riuniti in una unica curva granulometrica. Da quest'ultima sono stati determinati i tenori delle componenti principali di Nota (1958) e di Shepard (1954): rispettivamente sabbia e pelite nonché sand, silt, clay. Quando percentualmente significativa (>5%), sulla frazione sabbiosa è stato determinato il tenore in carbonati con calcimetro Dietrich - Fruhling. Integrano i risultati delle analisi osservazioni speditive allo stereomicroscopio.

6. RISULTATI

6.1. Composizione tessiturale dei sedimenti e loro classificazione secondo Shepard (1954)

Dai sedimenti è stata asportata per setacciatura ad umido la frazione conchigliare >2 mm, di cui però è stato determinato il tenore (Tab. 2). La tessitura dei sedimenti è

Tab. 2 - Coordinate, profondità, componenti tessiturali principali, parametri tessiturali, tenore di $CaCO_3$ nella frazione sabbiosa, tenore di clay nella frazione pelitica, numero del cluster di appartenenza della sabbia (CI. S.) e della pelite (CI. P.) dei singoli campioni.

Staz.	Lat. N	Long. E	Prof. m.	> 2 mm %	Sand %	Silt %	Clay %	Mz phi	Sort phi	Skw	%CaCO3 su sand	%Clay su pelite	Cl. S.	Cl. P.
0A	42° 05', 8	14° 48', 1	11	0.09	80.87	17.64	1.50	3.64	0.72	0.63	33.84	7.81	3	1
1A	42° 04', 1	14° 47', 8	6	0.07	97.56	2.44	0.00	2.90	0.35	-0.16	39.06	0.00	5	
1B	42° 04', 7	14° 48', 9	10	0.18	83.22	15.02	1.76	3.62	0.67	0.58	33.03	10.51	3	1
1C	42° 08', 0	14° 52', 4	26	2.59	17.21	57.65	25.14	6.99	2.87	0.29	29.52	30.37	1	5
1D	42° 09', 9	14° 54', 6	50	0.00	0.89	60.96	38.15	8.43	2.38	0.16		38.49		6
2A	42° 03', 8	14° 50', 3	10	0.30	91.41	6.98	1.62	3.36	0.49	0.55	36.59	18.82	3	2
3A	42° 02', 4	14° 51', 6	6	0.00	96.45	3.55	0.00	2.98	0.23	0.21	39.69	0.00	5	
3B	42°02', 9	14° 52', 0	10	0.00	88.59	8.42	3.00	3.41	0.90	0.63	35.12	26.26	3	5
3C	42° 05', 3	14° 55', 7	22	3.50	46.99	40.77	12.24	5.39	2.42	0.60	29.10	23.09	1	3
3D	42° 08', 1	14° 57', 9	50	0.00	1.36	58.28	40.36	8.54	2.47	0.14		40.92		6
4A	42° 02', 3	14° 53', 6	11	0.00	93.96	4.64	1.41	3.26	0.42	0.48	39.92	23.28	3	4
5A	42° 01', 3	14° 55', 3	6	0.15	96.72	3.28	0.00	2.98	0.24	0.22	39.77	0.00	5	
5B	42° 01', 9	14° 55', 8	12											
5Bbis	42° 01', 5	14° 55', 5	8	0.22	96.42	3.58	0.00	3.02	0.21	0.23	42.50	0.00	5	
5C	42° 04', 6	14° 58', 9	26	0.15	24.60	57.90	17.50	6.16	2.58	0.39	29.72	23.21	1	3
5D	42° 05', 5	15° 01', 2	41	0.00	1.52	64.49	33.99	8.18	2.40	0.23		34.51		6
6A	42° 01', 3	14° 57', 6	10	0.17	93.77	4.63	1.60	3.10	0.46	0.51	39.19	25.75	5	
7A	42° 00', 8	14° 58', 8	7	0.23	96.95	3.05	0.00	2.87	0.26	0.10	41.79	0.00	5	
7B	42° 00', 9	14° 59', 6	14	0.17	87.64	9.03	3.33	3.31	0.99	0.62	42.69	26.94	4	4
7C	42° 03', 1	15° 02', 2	26	0.00	30.75	55.84	13.40	5.72	2.43	0.46	28.51	19.35	1	2
7D	42° 04', 9	15° 04', 2	50	0.00	0.98	59.98	39.03	8.52	2.38	0.15		39.42		6
8A	41° 60', 0	15° 01', 5	11	0.00	96.20	3.80	0.00	2.98	0.24	0.18	40.42	0.00	5	
9A	41° 58', 8	15° 02', 5	7	0.49	96.68	3.32	0.00	2.67	0.59	-0.37	34.15	0.00	6	
9B	41° 59', 1	15° 02', 9	10	0.13	95.40	4.60	0.00	3.08	0.25	0.15	39.25	0.00	4	
9C	42° 01', 6	15° 05', 8	24	0.00	29.79	58.45	11.77	5.56	2.27	0.48	28.84	16.76	1	2
9D	42° 03', 5	15° 08', 0	50	0.00	0.97	61.91	37.12	8.36	2.28	0.13		37.48		6
10A	41° 58', 2	15° 04', 5	10	0.00	94.66	4.34	1.00	3.14	0.41	0.39	38.73	18.76	4	
11A	41° 56', 9	15° 05', 5	6	0.00	96.09	3.91	0.00	2.97	0.26	0.17	36.80	0.00	5	
11B	41° 57', 4	15° 06', 2	11	0.26	86.05	10.92	3.03	3.42	0.96	0.65	37.41	21.70	3	3
11C	42° 00', 4	15° 09', 5	24	0.14	19.53	62.83	17.64	6.24	2.63	0.48	28.79	21.92	1	3
11D	42° 02', 3	15° 11', 8	50	0.00	0.82	64.21	34.97	8.24	2.12	0.13		35.26		6
12A	41° 56', 7	15° 07', 9	11	0.24	93.96	5.17	0.88	3.23	0.41	0.50	37.82	14.52	3	4
13A	41° 55', 8	15° 09', 4	6	0.00	96.97	3.03	0.00	2.92	0.22	0.15	31.47	0.00	5	
13B	41° 56', 2	15° 09',9	11	0.00	93.96	4.56	1.48	3.18	0.45	0.42	35.60	24.51	4	4
13C	41° 59', 1	15° 13', 1	23	0.20	39.72	51.41	8.87	5.21	2.04	0.48	29.85	14.71	1	2
13D	42° 01', 3	15° 15', 5	47	0.00	1.13	63.83	35.04	8.23	2.14	0.09		35.44		6
14A	41° 55', 8	15° 12', 0	8	0.00	96.41	3.59	0.00	2.97	0.23	0.30	31.98	0.00	5	
15A	41° 55', 5	15° 13', 5	5	0.19	96.79	3.21	0.00	2.90	0.24	0.11	29.80	0.00	5	
15B	41° 55', 8	15° 14', 0	9	0.39	95.42	4.58	0.00	3.02	0.23	0.30	35.90	0.00	5	
15C	41° 58', 9	15° 17', 5	23	0.10	30.32	59.98	9.70	5.41	2.08	0.47	30.13	13.92	1	2
15D	42° 01', 0	15° 19', 6	52	0.00	1.14	61.72	37.14	8.39	2.26	0.13		37.57		6
16A	41° 55', 8	15° 15', 9	8	0.26	95.39	3.20	1.41	2.91	0.35	0.33	30.52	30.60	5	5
17A	41° 55', 6	15° 17', 6	6	0.26	96.42	3.58	0.00	2.81	0.37	-0.17	28.07	0.00	6	
17B	41° 55', 8	15° 18', 1	8	0.25	96.34	3.66	0.00	2.81	0.34	0.11	26.74	0.00	6	
BB	42° 07', 8	14° 48', 0	16	2.68	55.62	29.46	14.92	5.22	2.71	0.81	32.37	33.63	3	6
494V	42° 03', 3	15° 00', 2	23	0.00	49.56	42.76	7.67	4.81	1.88	0.56	28.46	15.21	1	2
510V	42° 00', 4	15° 01', 0	12	0.17	89.88	6.73	3.39	3.05	0.97	0.63	39.02	33.48	5	5
511V	42° 03', 2	14° 58', 7	21	1.02	65.40	24.55	10.05	4.84	2.24	0.82	29.40	29.04	2	5
512V	42° 05', 0	14° 52', 8	16	1.78	76.79	17.96	5.25	3.94	1.41	0.74	31.17	22.63	2	2
StA	42° 00', 3	15° 17', 0	38	0.00	3.17	70.25	26.58	7.62	2.27	0.21		27.45		5
StB	41° 60', 0	15° 15', 0	30	0.00	7.81	70.51	21.69	6.93	2.40	0.42	27.30	23.52	1	5
StC	41° 58', 7	15° 10', 0	20	2.08	40.89	49.38	9.73	5.33	2.15	0.50	33.90	16.46	1	2
StD	41° 59', 7	15° 06', 0	20	1.05	57.18	35.82	7.00	4.61	1.71	0.71	32.30	16.35	1	2

stata determinata ad intervalli di ½ unità φ. Sull'intero spettro granulometrico sono stati calcolati, per ciascun campione, i parametri tessiturali secondo Folk & Ward (1957): il diametro medio (Mz) e la classazione (σ_i) espressi in unità phi; l'asimmetria (Skewness) in unità adimesionale (Tab. 2). Nella medesima tabella sono anche riportate le percentuali di sand, silt e clay con le quali sono stati classificati i campioni (Fig. 2) secondo i campi tessiturali di Shepard (1954). Nella medesima figura, a tratteggio, sono sovrapposti anche i campi tessiturali di Nota (1958). La Figura 3 confronta il diametro medio (Mz) con la classazione (σ_i), riferiti all'intero spettro granulometrico.

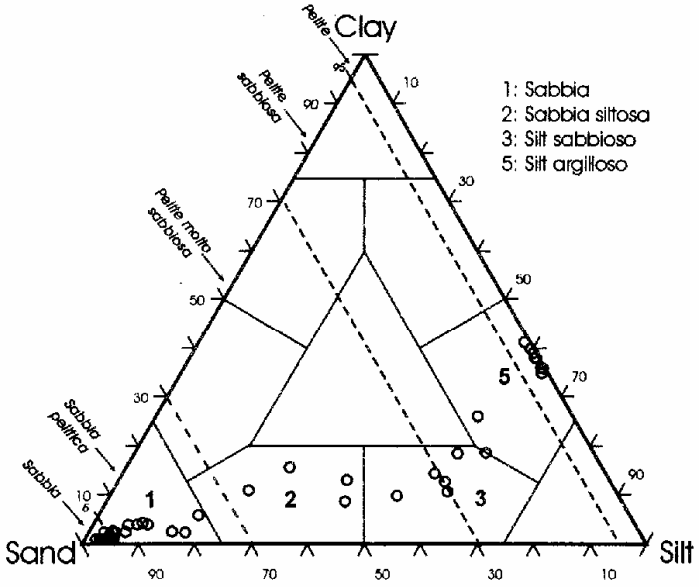


Fig. 2 - Tessitura dei sedimenti secondo Shepard (1954). A tratteggio vengono rappresentati anche i campi tessiturali secondo Nota (1958).

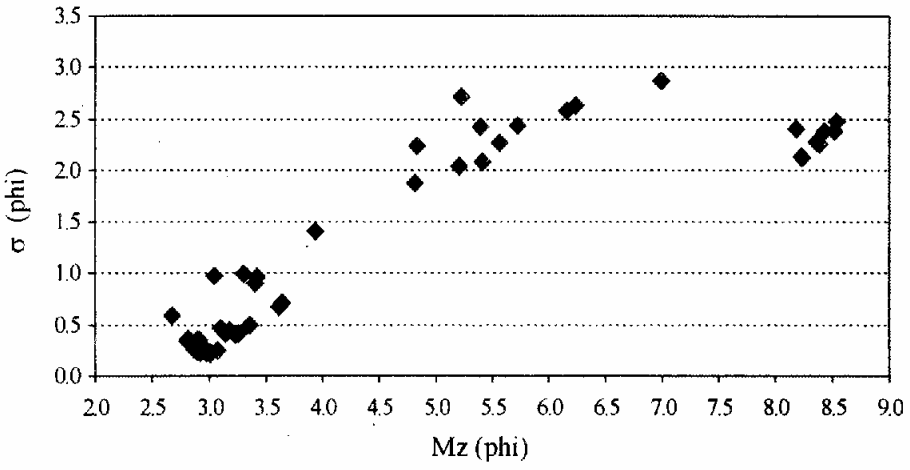


Fig. 3 - Correlazione tra diametro medio (Mz) e classazione (σ_i) nelle curve granulometriche complete.

6.2. Classificazione tessiturale secondo Nota (1958)

La classificazione tessiturale secondo Nota (1958) prevede quali *end-member* la sabbia e la pelite (frazione comprensiva di silt e di clay); i limiti di classe sono basati sui rapporti *5* e 30% delle componenti principali. Come più volte evidenziato (Brambati *et al,* 1983, 1984 e 1985), questa classificazione bene si presta a mappare la tessitura di fondali interessati da una elevata idrodinamica, sia attuale che relitta ("sabbie residuali" di piattaforma continentale).

In Figura 4 i fondali sono stati mappati secondo le classi tessiturali di Nota, definendone i confini per interpolazione lineare. Compare uno stile di sedimentazione ben noto nella maggior parte degli ambiti costieri sia dell'Alto che, soprattutto, del Medio Adriatico (Brambati *et al,* 1988ae 1988b).

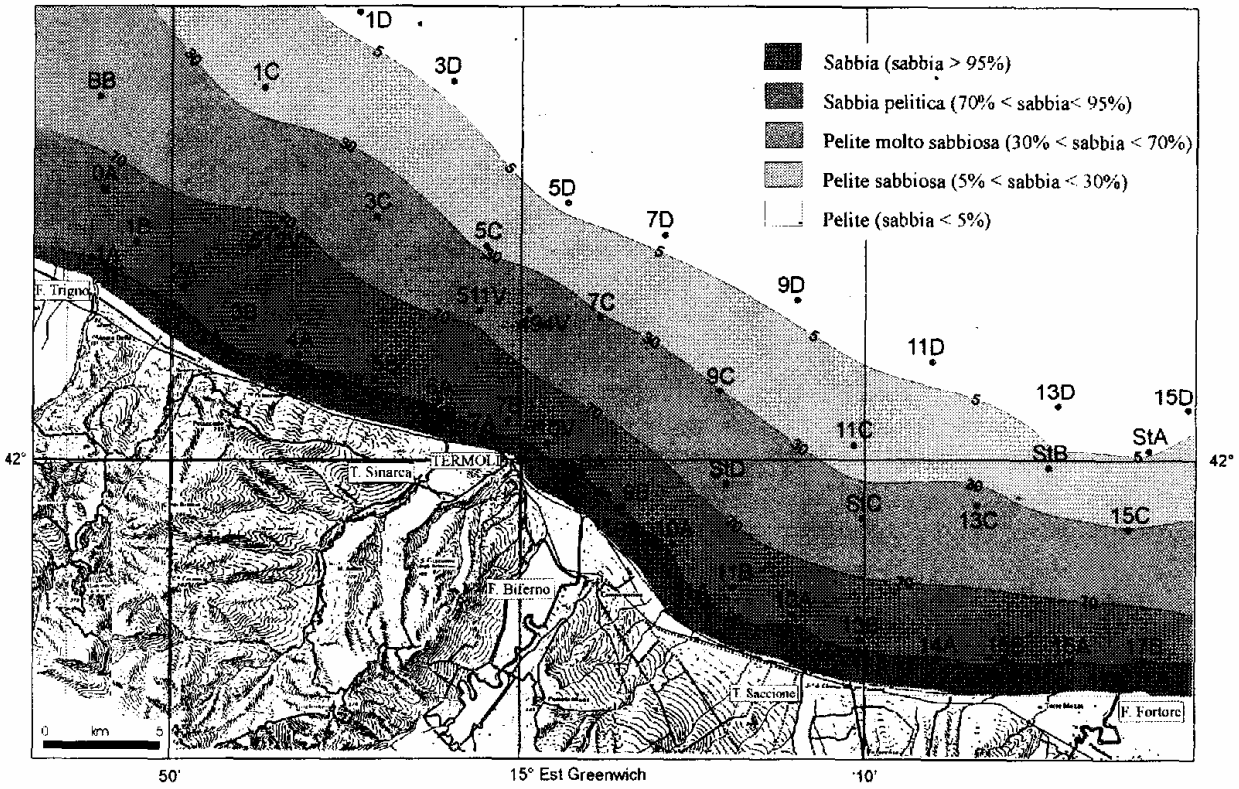


Fig. 4 - Distribuzione tessiturale dei sedimenti classificati secondo Nota (1958).

Dal punto di vista della distribuzione batimetrica si osserva che:

- la *sabbia* silicoclastica, fina o finissima (3.62<Mz<2.67 φ) raggiunge la batimetrica 8-10 m;
- il limite esterno della *sabbia pelitica* si colloca tra 15 e 18 m;
- la *pelite molto sabbiosa* si estende fino a 23-25 m;
- la *pelite sabbiosa* raggiunge la fascia batimetrica di 42-45 m;

- la pelite, di tipico colore plumbeo sul prisma costiero si raccorda progressivamente con quella oliva chiaro del largo, ricca in argilla smectitica (Viel et al., 1986; Curzi & Tomadin, 1987) e con caratteristico residuo in foraminiferi e briozoi ramificati.

Nella stazione 5B (-12 m), in piena zona di sedimenti mobili, è stato individuato un piccolo settore di fondale biocostruito a rodofite calcaree.

6.3. Tenore di carbonati nella frazione sabbiosa

A complemento delle osservazioni desumibili dalla granulometria, si considera ora la distribuzione dei carbonati totali contenuti nella frazione sabbiosa (Tab.2). I tenori estremi dei carbonati rilevati nell'area sono di 42.7% (staz. 7B) e 26.7% (staz. 17B); il loro valore medio è di 34.4±4.8%. La Figura 5 correla i tenori rilevati con il diametro medio della frazione sabbiosa. Con l'esclusione dei campioni in basso a sinistra, si nota una generale diminuzione dei carbonati al diminuire del diametro medio, procedendo quindi dalla costa verso il largo.

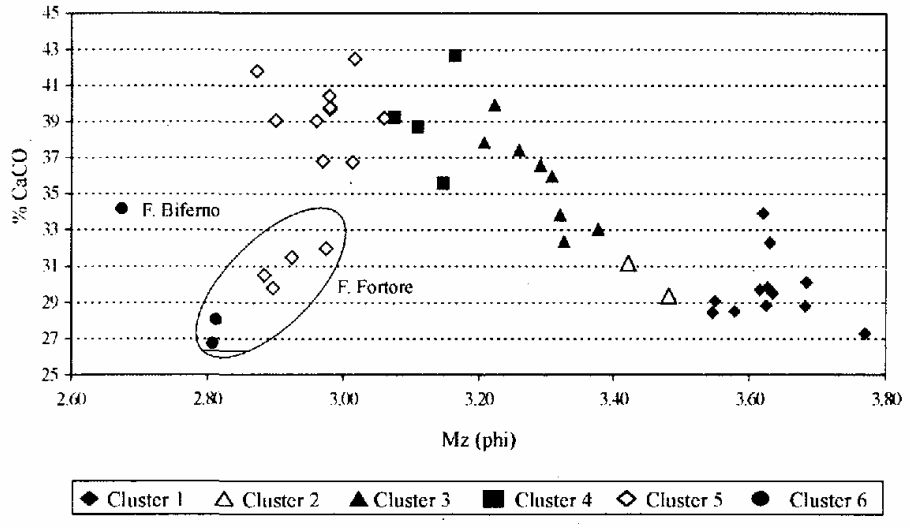


Fig. 5 - Confronto tra i tenori percentuali di $CaCO_3$ e il diametro medio (Mz) della frazione sabbiosa. I differenti simboli identificano i cluster di appartenenza dei diversi campioni (vedi Tabella 3 al cap. 7.1).

Più nel dettaglio, nella frazione sabbiosa dei campioni prossimi all'isobata -5 m il valor medio è 35.6±4.9%, in quella dei campioni prossimi all'isobata -10 m il valor medio è 36.8±4.1% e nella frazione dei campioni presso l'isobata di -25 m esso è 29.8+1.8%. Il basso tenore di carbonati di questo ultimo gruppo di campioni, distanti 6-8 km dalla costa, è risultato, in un certo senso, inatteso. L'esame del sedimento rilevava infatti apprezzabili contenuti di frazione biogenica >2 mm (tanatocenosi a *Corbula* e *Turitella)* >1% del peso complessivo. Quindi la frazione sabbiosa delle peliti molto sabbiose non risulta essere a rilevante componente biogenica o biodetritica ma ancora prevalentemente terrigena. Lo stesso può dirsi della (scarsa) frazione sabbiosa dei campioni pelitici prelevati attorno a 50 m che, pur se non analizzata, rivela al microscopio una composizione tipicamente silicoclastica, con elevato tenore di miche.

Le sabbie campionate attorno a -5 m (appena oltre la linea della frangenza media indicata da Dal Cin (1989), per l'Abruzzo, e da Simeoni (1992), per la Puglia) presentano in media un tenore di carbonati lievemente inferiore a quelle di 10 m (Fig. 6). Nell'area in -esame queste ultime risultano essere le più ricche in questa frazione mineralogica. Le sabbie prossime alle foci fluviali, più grossolane e meno classate, hanno tenori in carbonati decisamente inferiori rispetto a quelle circostanti. Evidente è il caso del F. Fortore, ove le sabbie fluviali si riconoscono fino oltre l'isobata 10 m e parrebbero distribuite verso NW, lungo la riva fino, a circa 6 km dalla foce.

La mancanza di un'appropriata campionatura non permette considerazioni dettagliate per il F. Biferno, se non che la gittata verso il largo delle sabbie fluviali non supera l'isobata di 10 m. Per il F. Trigno sembrerebbe che la gittata del fiume in mare non sia stata campionata in quanto il campione 1A, anche se prossimo alla foce, per granulometria e per tenore in carbonati non risulta dissimile da quelli presenti a SE lungo la spiaggia sottomarina. Le sabbie di questo fiume sembrerebbero quindi nettamente disperse in direzione NW dal forte *drift* litorale presente in questa zona.

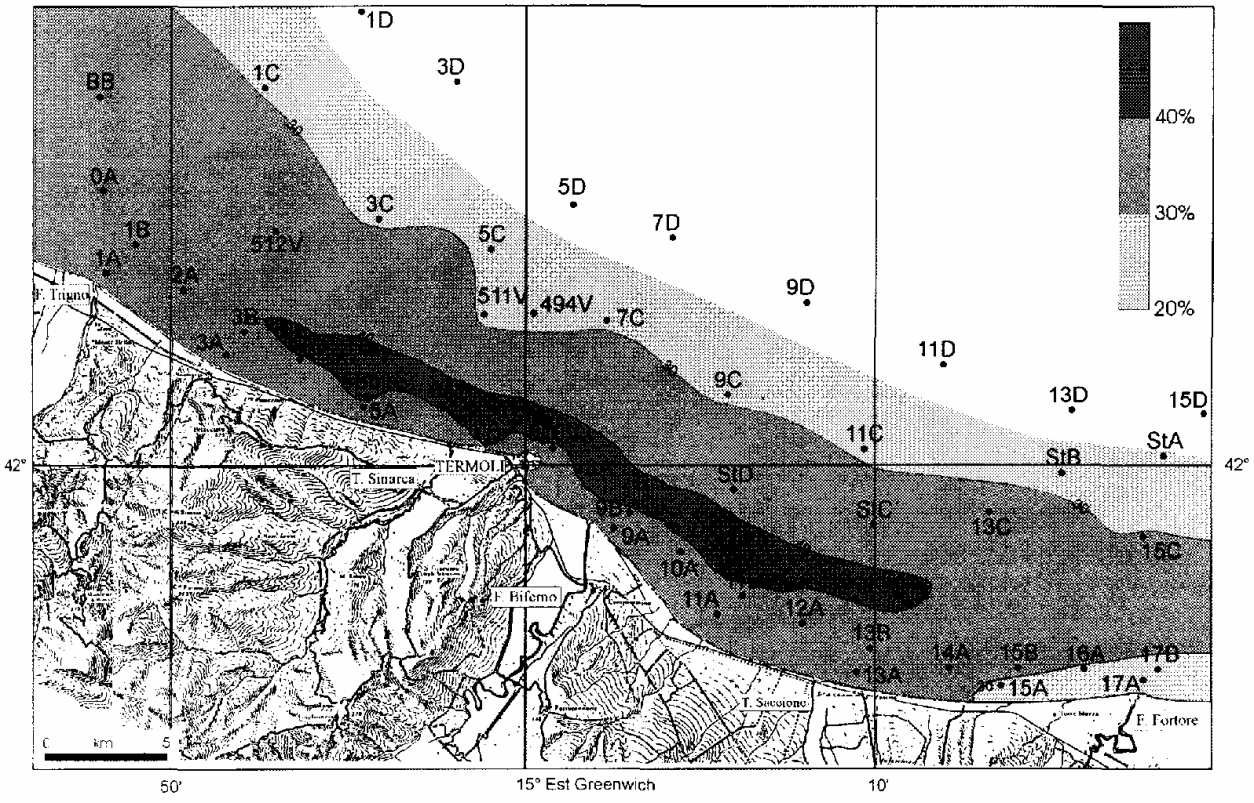


Fig. 6 - Distribuzione areale dei tenori percentuali di $CaCO_3$ nella frazione sabbiosa.

6.4. Tenore di clay nella frazione pelitica e sua distribuzione areale

Il clay (<2 μm) nella frazione pelitica è assente nelle stazioni di spiaggia sottomarina, campionate a profondità di -5 m. Sulla piattaforma interna invece, già

attorno all'isobata 10 m, i tenori d'argilla rilevati sono disomogenei e ampiamente variabili: da O a 33.48% (staz. 510V), con un valor medio di 16.21%±11.36%.

Più al largo ancora, su fondali tra 25-30 m, il tenore medio di clay (21.43%±5.32%) è lievemente superiore rispetto alla precedente zona e, soprattutto, più uniforme lungo la fascia batimetrica. Si nota piuttosto un decremento regolare di questa frazione da NW verso SE, ricostruibile con i dati riportati in Tabella 2. Infine su fondali di 50 m il tenore medio di clay aumenta decisamente (37.39%±2.22%). Quindi il tenore di clay nella pelite tende ad aumentare secondo il classico *trend* costa-largo solo dal bordo della piattaforma interna verso fondali più alti.

La distribuzione a "chiazze" dell'argilla sulla piattaforma interna prossimale (attorno all'isobata di 10 m),.spesso in tenori più elevati che nelle stazioni appena più al largo, può trovare significato nella dinamica della costa e nel regime dei fiumi sfocianti (Fig. 7). Essi infatti hanno portate troppo esigue e saltuarie per costruire depositi di fronte deltizia e di prodelta differenziabili "in fino" secondo il modello tessiturale di Nota, come invece avviene nell'Adriatico settentrionale (Brambati *et al,* 1988a). Tuttavia sui fondali disposti ai lati delle ali dei delta sommersi si constatano locali arricchimenti in argilla, espressione dell'effetto della risospensione per moto ondoso e delle direzioni preferenziali di dispersione dei pennacchi di torbida dei fiumi forzati dalle correnti litorali.

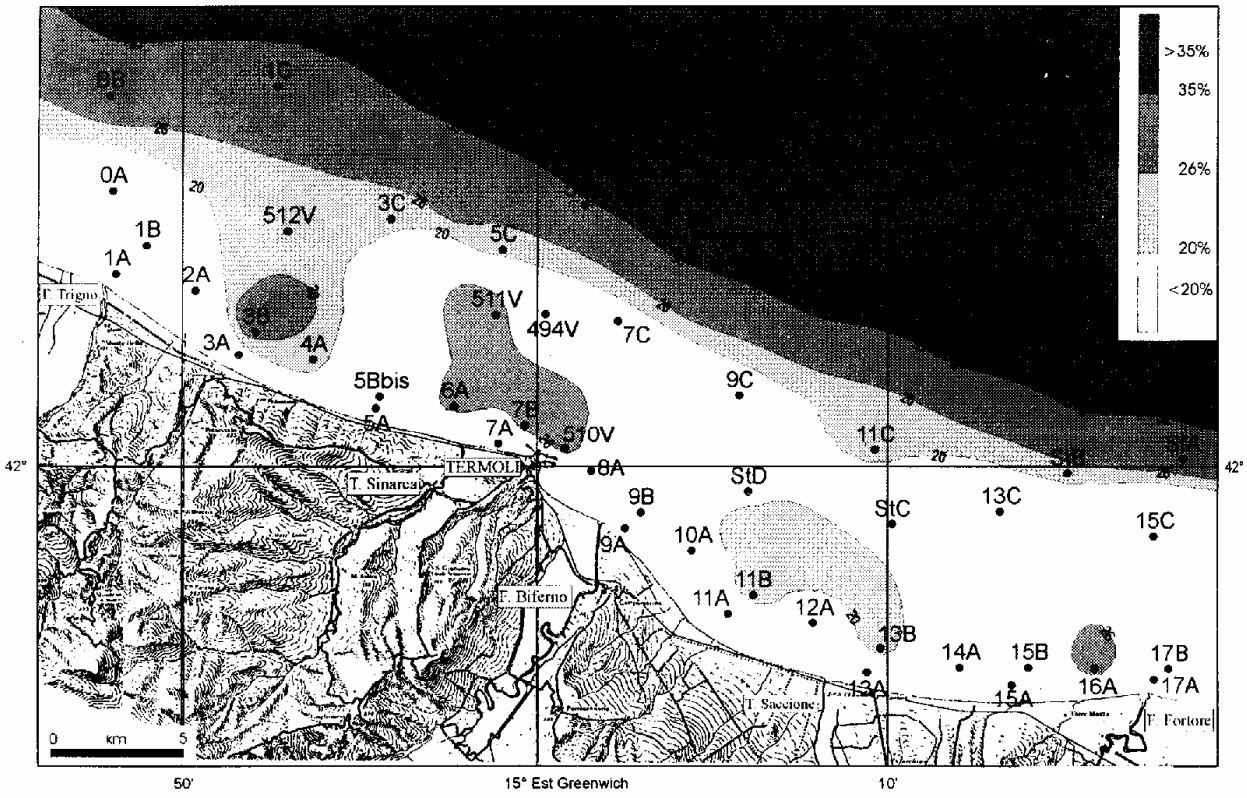


Fig. 7 - Distribuzione areale del tenore di clay nella frazione pelitica.

Vengono quindi suggerite dispersioni di parte delle sospensioni del F. Fortore verso NW e quelle del F. Trigrio verso SE. Due aree di maggior concentrazione in clay, quasi simmetriche, si estendono ai lati del delta sommerso del F. Biferno. Quella di NW inoltre risulta più intensa perché rafforzata dalle torbide del T. Sinarca.

7. CLUSTER ANALYSIS DELLE SABBIE E DELLE PELITI

Dopo aver rapidamente descritto le principali caratteristiche dei sedimenti, considerando il loro intero spettro granulometrico, si preferisce ora analizzare separatamente le componenti di alta e bassa energia: la frazione sabbiosa e quella pelitica rispettivamente. Da tempo è nostra convinzione che questo procedimento rappresenti un valido approccio alla identificazione dei processi sedimentali che, nella medesima area, interagiscono sovrapposti o pulsano per intensità nel tempo.

Per ciascuna frazione è stata ricalcolata, ad intervalli di ¼ unità φ, la curva granulometrica normalizzata a 100. Le percentuali ponderali delle differenti classi di frequenza cosi ottenute sono state sottoposte a *cluster analysis* con il metodo *average linkage* e distanza euclidea. Infine, per ogni gruppo (*cluster*) di campioni riconosciuto, è stata calcolata la relativa curva granulometrica media (Fig. 8 e 11*).*

7.1. Cluster analysis della frazione sabbiosa

La *cluster analysis* è stata applicata sullo spettro granulometrico della frazione sabbiosa di 43 campioni, con esclusione di quelli in cui essa risultava inferiore a 5% (peliti in Fig. 4). Il dendrogramma derivato è stato suddiviso in 6 gruppi (*cluster*) le cui curve granulometriche medie sono rappresentate in Figura 8. Di ogni curva media sono stati ricalcolati i parametri tessiturali riportati in Tabella 3.

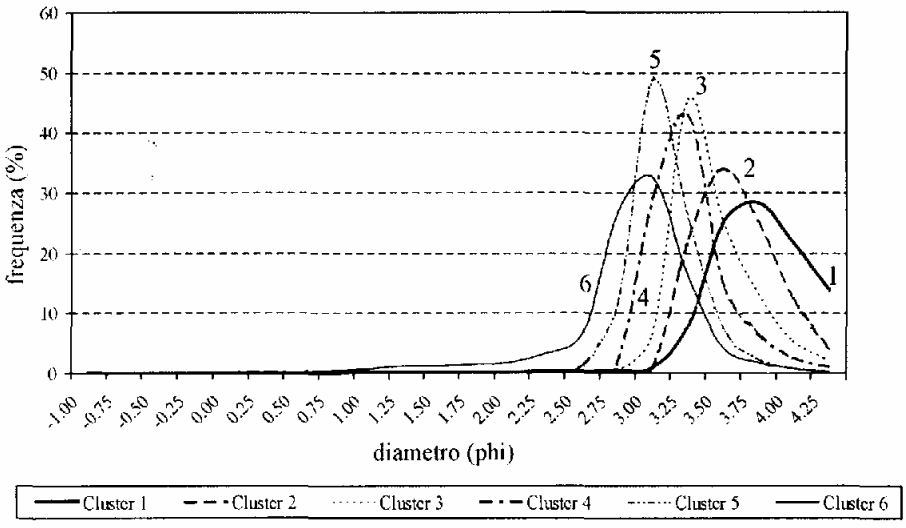


Fig. 8 - Curve granulometriche medie dei 6 cluster della frazione sabbiosa.

Risulta che le frazioni sabbiose presentano il diametro medio decrescente dal *cluster* 6 al *cluster* 1 e quindi dalla costa verso il largo. I valori di classazione indicano

frazioni estremamente classate e praticamente simmetriche: solo il *cluster* 6 è ben classato e asimmetrico negativo. Le frazioni sabbiose sono tutte unimodali. Le classi modali sono comprese nell'intervallo 2.75-3.75 (p, ma i campioni più prossimi alla costa *(cluster* 3, 4, 5 e 6) ricadono nell'intervallo ben più ristretto di 3-3.25 φ. La Figura 9 confronta, nell'ordine, i valori di diametro medio contro l'asimmetria e. contro la classazione della frazione sabbiosa dei campioni, suddivisi per *cluster* di appartenenza.

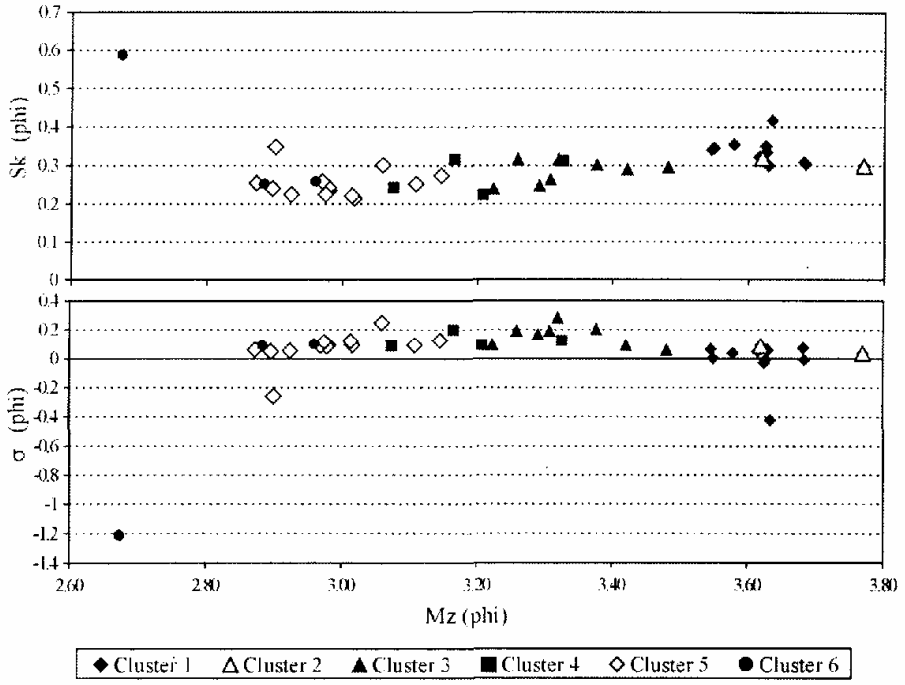


Fig. 9 - Valori del diametro medio (Mz) contro l'asimmetria (Sk_i) e contro la classazione (σ_i) nella frazione sabbiosa. I campioni sono identificabili secondo i clusler di appartenenza.

Tab. 3 - Parametri tessiturali: diametro medio (Mz), classazione (σ_i) e skewness (Sk_i) relativi alle curve granulometriche medie dei 6 cluster della frazione sabbiosa.

	Mz	**Sorting**	**Skewness**	
Media	3.63	0.33	-0.004	**Cluster 1**
St.d.	0.06	0.03	0.14	12 campioni
Media	3.45	0.29	0.08	**Cluster 2**
St.d.	0.04	0.00	0.02	2 campioni
Media	3.29	0.28	0.17	**Cluster 3**
St.d.	0.06	0.04	0.06	8 campioni
Media	3.12	0.27	0.13	**Cluster 4**
St.d.	0.04	0.03	0.05	4 campioni
Media	2.96	0.25	0.07	**Cluster 5**
St.d.	0.06	0.04	0.11	14 campioni
Media	2.77	0.43	-0.50	**Cluster 6**
St.d.	0.08	0.14	0.65	3 campioni

Infine in Figura 10 vengono ubicati, nell'area studiata, i 6 tipi di frazione sabbiosa, identificabili secondo i cluster di appartenenza.

Ne discendono le seguenti considerazioni:

- *Cluster* 1, 2: rappresentano le frazioni sabbiose delle stazioni più distanti dalla costa in sedimenti in cui la sabbia è spesso subordinata alla pelite;
- *Cluster* 3: identifica zone di convergenza dei versi del trasporto solido litoraneo, zone in cui la pendenza della spiaggia sottomarina diminuisce;
- *Cluster* 4: sono frazioni sabbiose di sedimenti distali dalle foci fluviali;
- *Cluster 5:* rappresenta le stazioni più prossime a riva, a 5 e talora 10 m, ove il verso del trasporto solido netto sembrerebbe ben definito dal moto ondoso locale;
- *Cluster* 6: il più grossolano e con lieve asimmetria negativa, è ubicato presso le foci dei Fiumi Fortore e Biferno.

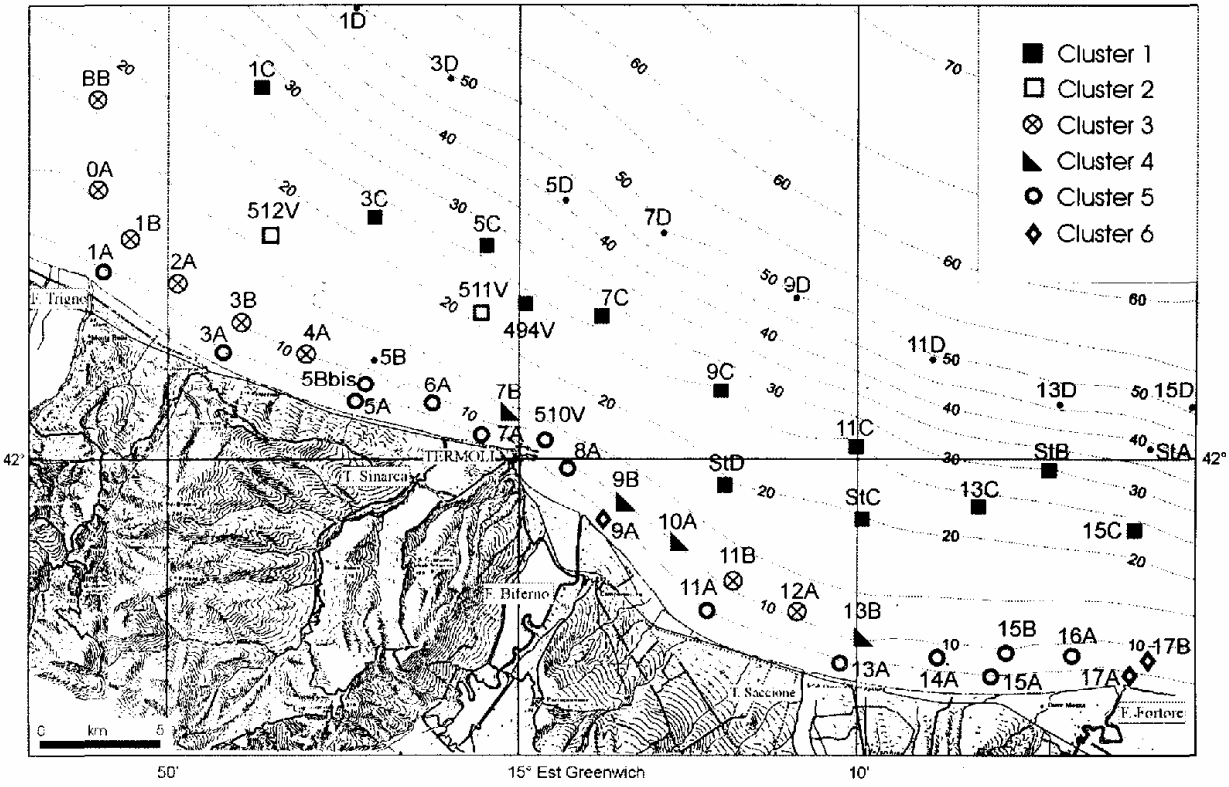


Fig. 10 - Distribuzione areale dei cluster della frazione sabbiosa.

7.2. Cluster analysis della frazione pelitica

La frazione pelitica di 36 campioni, sottoposta a *cluster analysis, è* stata ripartita in 6 gruppi. La Figura 11 cumula le curve granulometriche medie delle frazioni pelitiche di tutti i *cluster.* Il diametro medio decresce dal *cluster* 1 al *cluster 6* e quindi dalla costa verso il largo, come si osserva in Tabella 4.

Le frazioni pelitiche risultano unimodali, con netta moda grossolana nell'intervallo 4.75-5.25 φ *(cluster* 1, 2 e 3), unimodali con moda fine 7.50 φ (*cluster* 6) oppure bimodali con moda principale grossolana nell'intervallo 4.75-5.50 9 (*cluster* 4 e 5). Queste ultime frazioni possono essere viste quali termini di transizione dalle prime alle seconde e la loro distribuzione areale riveste importanti significati, come più sotto discusso. Per inciso, si fa notare che ai *cluster* 3 e 4, pur di identico diametro medio, corrispondono curve granulometriche ben differenziate (Fig. 11).

Tab. 4 - Diametro medio (Mz) delle curve granulometriche medie dei 6 cluster della frazione pelitica.

	Mz			**Mz**	
Media	5.39	**Cluster1**	Media	6.99	**Cluster 4**
St.d.	0.38	2 campioni	St.d.	0.31	4 campioni
Media	6.51	**Cluster 2**	Media	7.59	**Cluster 5**
St.d.	0.21	9 campioni	St.d.	0.33	8 campioni
Media	7.00	**Cluster 3**	Media	8.37	**Cluster 6**
St.d.	0.13	4 campioni	St.d.	0.16	9 campioni

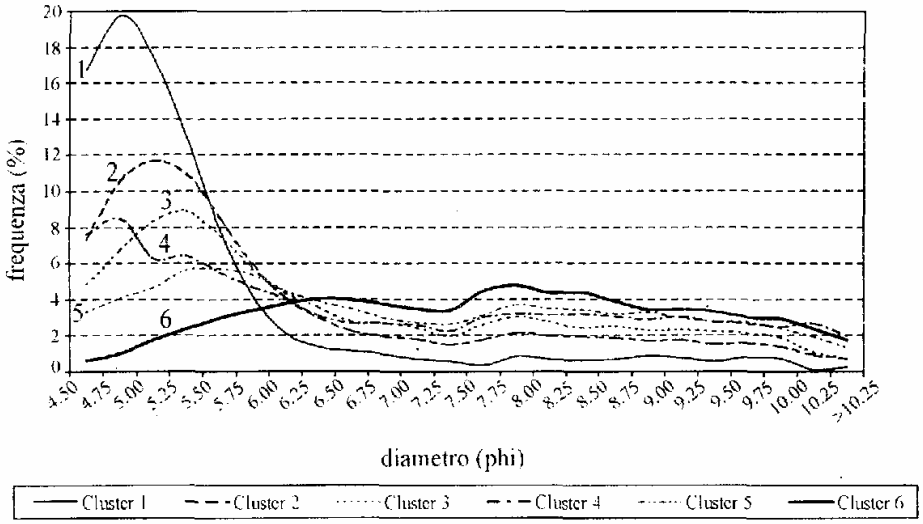


Fig. 11 - Curve granulometrichc medie dei 6 cluster della frazione pelitica.

7.3. Modello di dispersione della pelite

Infine in Figura 12 vengono ubicati nell'area studiata i 6 tipi di frazione pelitica riconosciuti. Emerge subito che le classi non si distribuiscono secondo i "consueti" *trend* costa-largo, come invece avviene per i campi tessiturali di Nota, per il diametro medio riferito sia all'intero spettro dimensionale sia a quello della frazione sabbiosa o, sotto certi aspetti, anche per il tenore in carbonati. Ma, come già suggerito dalla distribuzione del tenore di clay (Fig. 7), la distribuzione areale dei *cluster* della pelite assume configurazioni più complesse ed articolate.

Viene così proposto un modello interpretativo della dispersione della frazione di bassa energia (Fig. 12). Da questo appare che:

- il *cluster* 1 sottolinea la dispersione prossimale della *plume* fluviale del F. Trigno, più grossolana e diretta prevalentemente a NW, verso il golfo di Vasto;
- il *cluster* 2 rappresenta la dispersione distale dei tre fiumi più importanti, essa è riconoscibile sino a 10-15 km dai punti di *input;*
- il *cluster* 5 identifica le frange estreme dei penacchi di dispersione delle diverse *plumes,* sia al largo che sottocosta;
- le peliti del *cluster* 3 indicano invece zone in cui la individualità dei singoli penacchi torbidi viene meno per processi di fusione laterale e di mescolamento delle torbide lungo la colonna d'acqua;
- le peliti del *cluster* 6, molto omogenee e distribuite in tutta l'area intorno all'isobata di 50m, cominciano a risentire dei processi dispersivi sostenuti dall'idrodinamica del largo, anche se la moda secondaria di 6.5 φ ricorda la stretta provenienza del materiale sedimentario dalla costa prospiciente;
- infine il *cluster* 4, riscontrato soltanto in prossimità della costa, identifica aree di concentrazione di pelite intrappolata per caduta dell'energia media in settori di convergenza o divergenza del *drift* litorale.

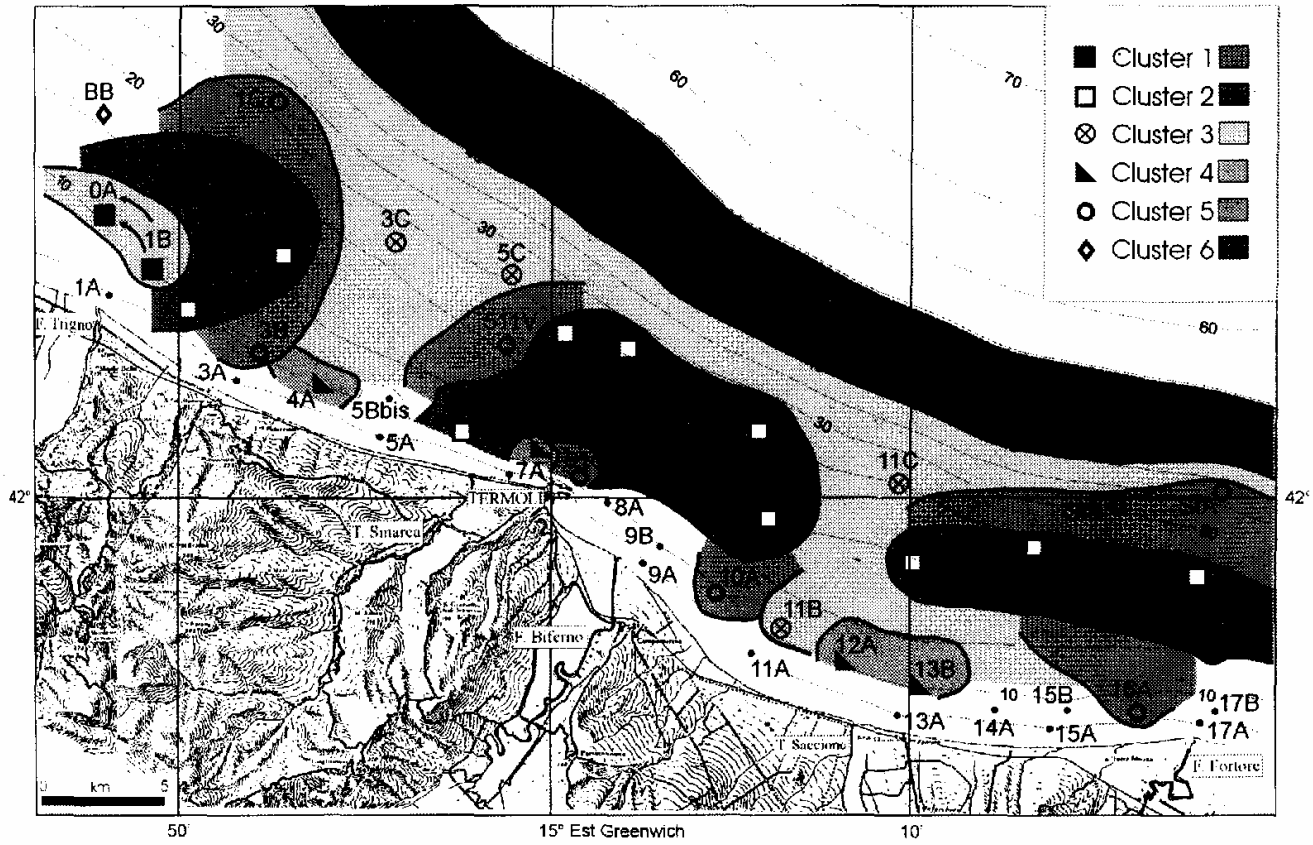


Fig. 12 - Distribuzione areale dei cluster della frazione pelitica e modello interpretativo della sua dispersione.

8. CONCLUSIONI

Sul prisma costiero molisano è stata ricostruita la successione e definita l'estensione areale delle differenti fasce tessiturali di Nota. Da riva verso il largo viene ricalcato lo stile di sedimentazione per bande subparallele alla linea di riva, ben noto nell'Adriatico centrale. L'ampia piattaforma interna è dominata dalla presenza della sabbia pelitica e della pelite molto sabbiosa. D contributo in sabbia terrigena sui fondali del prisma è ancora ben sensibile nelle peliti sabbiose che ricoprono la terminazione esterna dello stesso. La sedimentazione, quindi, risulta ampiamente condizionata dal moto ondoso e, soprattutto, dal regime delle correnti litorali. Le peliti oltre 50 m (campioni D - *cluster* 6) molto fini, omogenee e ricche d'argilla, segnalerebbero l'estremo limite di influenza verso terra del sistema dispersivo delle correnti del largo, di prevalente andamento NW-SE, su sospensioni di stretta provenienza continentale, testimoniate dallo scarso residuo (<5%) sabbioso silicoclastico.

Gli attuali apporti solidi fluviali sono sbilanciati in senso negativo rispetto al regime energetico dei litorali. In tutta l'area è stato appurato, infatti, il generale processo di arretramento della linea di riva, causato dalla sensibile riduzione di apporto solido dal continente per cause eminentemente antropiche. La sottoalimentazione dei litorali sarebbe inoltre confermata dalla espansione sino all'isobata 10 m di sabbie più grossolane e asimmetriche negative *(cluster* 6) sui pendii di prodelta dei Fiumi Fortore e Trigno. Gli apporti solidi fluviali non risultano tali da determinare il cambiamento delle facies tessiturali di fronte alle foci dei fiumi, analogamente a quanto accertato dalla Romagna fino all'Abruzzo (Brambati *et al,* 1988a e 1988b).

Lo studio della frazione fine nei sedimenti permette la ricostruzione dei complessi fenomeni di espansione a mare, circuitazione e confinamento sottocosta delle *plumes* fluviali, risultanti della sommatoria dei processi idrodinamici agenti sulla piattaforma interna. Nei sedimenti risultano registrate le espansioni medie delle singole *plumes* fluviali sino a circa 10-15 km dalla foce. Possono inoltre essere riconosciute le zone in cui prevalgono i processi di commistione e di fusione laterale delle diverse *plumes.*

Sotto costa talora si determinano fenomeni di segregazione o intrappolamento di sospensioni fini per caduta della energia media del sito, in prossimità di punti di convergenza e divergenza dei versi del trasporto sedimentario netto.

Sulla base del modello di dispersione così ricostruito possono essere suggerite o indicate aree di probabile concentrazione o temporanea residenza di nutrienti, contaminanti antropici o, in generale, di sostanze di recente provenienza continentale legate alla frazione fine.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i partecipanti alla crociera Mo.Ga.Tre. delle UU.OO. dell'Università di Bari (resp. A. Tursi), dell'ICRAM - Roma (resp. E. Amato, e capomissione) e dell'Università di Roma “Tor Vergata” (resp. E. Fresi) nonché il personale di bordo della “Coopernaut Franca”. Si ringrazia inoltre Cristiano Landucci, tecnico del Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine (Università di Trieste) per

l'aiuto alla parte grafica.

Ricerca eseguita con il contributo di fondi CNR - Progetto PRISMA 2.

BIBLIOGRAFIA

AA. VV. 1986. Indagine ambientale del sistema marino costiero della regione Puglia. Elementi per la definizione del piano delle coste. ENEA, Roma, 277 pp.

AA. VV. 1989. Il sistema marino costiero della regione Abruzzo. Contributi per un'indagine sullo stato dell'ambiente. ENEA, Roma, 194 pp.

Balboni A., Livraga G.F. & Verdiani G. 1963. Carta Geologica d'Italia, foglio 154 (Larino) I Edizione, 1:100.000, Servizio Geologico d'Italia.

Bergomi C. & Valletta M. 1968. Carta Geologica d'Italia, foglio 148 (Vasto) II Edizione, 1:100.000. Servizio Geologico d'Italia.

Boni P., Bruno G., Casnedi R., Centamore E., Colantoni P., Cremonini G., Elmi C., Monesi A., Motta E., Perotto G. & Valletta M. 1969. Carta Geologica d'Italia, foglio 155 (San Severo) II Edizione, 1:100.000. Servizio Geologico d'Italia.

Brambati A., Carbognin L., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Gatto P., Marabini F. & Marocco R. 1985. Example of sediment distribution in the italian Adriatic coast. A comparison between the Shepard and Nota textural classifications. *Proc. 4th Symp. Coastal and Ocean Management "Coastal Zone 1985",* Baltimora: 510-517.

Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Marabini F. & Marocco R. 1983. A new sedimentological textural map of the Northern and Central Adriatic Sea *Boll. Oceaonol. Teor. Appl,* 1 (4): 267-271, 2 tavv.

Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Marabini F. & Marocco R. 1984. Distribuzione dei sedimenti nel Mar Adriatico: confronto tra le classificazioni tessiturali di Shepard e di Nota. *Mem. Soc. Geol. It.,* 27: 391-392, 2 tavv.

Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Marabini F. & Marocco R. 1988a. Carta sedimentologica dell'Adriatico Settentrionale. Carta n. 924 alla scala 1:250.000, edita a cura del C.N.R., Ist. De Agostini, Novara

Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Marabini F. & Marocco R. 1988b. Carta sedimentologica dell'Adriatico Centrale. Carta n. 925 alla scala 1:250.000, edita a cura del C.N.R., Ist. De Agostini, Novara.

Casnedi R. 1988. La fossa Bradanica: origine, sedimentazione e migrazione. *Mem. Soc. Geol. It.,* 41: 439-448.

Coltellacci M., Girardi A. & Parca G.C. 1985. Atlante delle spiagge italiane. Foglio 155 (S. Severo). Carta alla scala 1:100.000. CNR - Roma.

Corrado S., Bucci D., Naso G. & Damiani A.V. 1998. Rapporti tra le grandi unità stratigrafico-strutturali dell'alto Molise (Appennino centrale). *Boll. Soc. Geol. It.,* 117:761-776.

Curzi P.V. & Tomadin L. 1987. Dinamica della sedimentazione pelitica attuale ed olocenica nell'Adriatico centrale. *Giornale di Geologia,* Ser. 3ª, 49/1: 101-111.

Dal Cin R. 1989. I litorali fra San Benedetto del Trento e Ottona (Medio Adriatico): sedimenti, degrado ambientale, zonazione costiera, possibili strategie d'intervento. *Boll. Soc. Geol. It.,* 108: 649-686.

Di Nocera S., Pagano C., Russo B. & Torre M. 1988. Successioni del bacino Irpino nei dintorni di Celenza Valfortore (Appennino Dauno). *Mem. Soc. Geol. It.,* 41: 423-430.

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

Fondi M. 1970. Abruzzo e Molise. *Le regioni d'Italia,* 12. Torino, 632 pp.

Giorgi G., Girardi A., Marabini F. & Zunica M. 1984. Evoluzione delle coste abruzzesi-molisane ed analisi di alcuni paraggi significativi. *Mem. Soc. Geol. It.,* 27: 569-577.

Girardi A. 1981. Analisi preliminare dello spazio costiero tra foce Trento e foce Fortore. *Quaderni dell'Istituto di Geografia,* 5, Università di Padova. 28 pp.

Grauso S. 1986. Schema geo-litologico dell'area pugliese adriatico-ionica e contributo detritico dei corsi d'acqua. In: *Indagine Ambientale del sistema marino costiero della regione Puglia* (AA. VV.) - ENEA: 27-39.

Girardi A. & Parca G.C. 1985. Atlante delle spiagge italiane. Foglio 147 (Lanciano) - 148 (Vasto). Carta alla scala 1:100.000, CNR - Roma.

Mercuri T. & Rizzo V. 1980. L'erosione del medio e basso bacino del F. Biferno (Molise). *Geologia applicata e Idrogeologia,* XV: 69-86. 2 carte 1:50.000.

Nota D.J.G. 1958. Sediments of the Western Guiana shelf. Thesis, Mededel. Landbouwhogaschool, Wageningen, 98 pp.

Parea G.C. 1978. Trasporto dei sedimenti ed erosione costiera lungo il litorale fra il Trento ed il Fortore (Adriatico Centrale). *Mem. Soc. Geol. It.,* 19: 361-367.

Savelli D., Tramontana M. & Wezel F.C. 1990. Cyclic sedimentation and erosion of quaternary sedimentary wedges off the Gargano promontory (Southern Adriatic Sea). *Boll, Ocean. Teor. Appl,* 3: 163-175.

Sgrosso I. 1998. Possibile evoluzione cinematica miocenica nell'Orogene centro-sud appenninico. *Boll. Soc. Geol. It.,* 117: 679-724.

Shepard F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Jour. Sedim. Petr.,* 24: 151-158.

Simeoni U. 1992. I litorali tra Manfredonia e Barletta (Basso Adriatico): dissesti, sedimenti, problematiche ambientali. *Boll. Soc. Geol. It.,* Ili: 367-398.

Simeoni U., Calderoni G., Tessari U. & Mazzini E. 1999. A new application of system theory to foredunes intervention strategies. *Jour. Coastal Research,* 15 (2): 457-470.

Vatova A. 1949. La fauna bentonica dell'Alto e Medio Adriatico. *Nova Thalassia,* 1 (3): 110 pp.

Viel M., Damiani V. & Setti M. 1986. Caratteristiche granulometriche e composizione mineralogica della piattaforma pugliese. In: *Indagine Ambientale del sistema marino costiero della regione Puglia* (AA. VV.) - ENEA: 127-145.

Vittorini S. 1991. La diminuzione del trasporto torbido nei fiumi italiani tra il periodo prebellico e quello attuale. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.,* 14: 251-258.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 99-111, luglio 2000

UN APPROCCIO AL PROBLEMA DELLA VALUTAZIONE DEI FLUSSI ORIZZONTALI DI SEDIMENTO NEGLI AMBIENTI AD ALTA ENERGIA ATTRAVERSO L'USO DI UNA NUOVA TRAPPOLA PER SEDIMENTI

ORSI Marco[1], SICCARDI Antonio[2], TUCCI Sergio[1]

[1] Università di Genova - Dipartimento per lo studio del territorio e delle sue risorse
[2] CNR - Istituto Automazione Navale - Genova

ABSTRACT

The problem under investigation is the evaluation of the horizontal particles fluxes in high energy environments like all the sites where strong current flows do not allow the particles to sediment but cause mainly a consistent horizontal flux of material. In this type of environments traditional sediment traps doesn't work properly or doesn't work at all because of the eddies generated by the interaction of the edges of the trap mouth with the stream of the currents. We propose the use of a new design trap, in which the horizontal water flow is driven thorough a variable geometry but constant section channel and forced to assume a laminar structure before to get into a "trapping area"; the trap effect is obtained by entering a death space (Gardner, 1996 e 1997) in which the sudden decrease of velocity cause a precipitation of the particles suspended in the incoming flow .

Different prototypes nave been thought, based on the same principle but with different design of the adduction channel and with different geometry of the interface between the channel and the trapping area. We have also defined the two geometrical parameter **(Rv** and **Ra)** which drives the effectiveness of the trap. One prototype has been built , to be able to test the equipment's in a laboratory facility. We tested our apparatus in a forced flow of water, artificially enriched of a known amount of selected particles; this experimental set-up allow us to evaluate the trapping behaviour over long time periods, with particular attention to the relation between the compositional and dimensional spectrum of trapped particles and that of the artificial flow and to the trapping efficiency as a function of the water speed. Data and diagrams are shown, demonstrating the effectiveness of the trap and the different response of the prototypes versus the water speed. The most valuable fields of application of this apparatus are sedimentary and environmental studies in marine and internal waters.

RIASSUNTO

Il problema in studio è la valutazione dei flussi laterali di materiale particellato sospeso in ambienti di alta energia come tutti quei siti in cui forti correnti non consentono

alle particene di sedimentare ma causano consistenti flussi orizzontali di materiale. In questo tipo di situazioni le trappole tradizionali o non riescono a catturare correttamente o non catturano per nulla a causa dei vortici generati dall'interazione tra la bocca della trappola e i filetti idrici. Si propone quindi l'uso di una trappola di nuova concezione in cui i flussi orizzontali di corrente sono guidati in un canale a forma variabile, ma a sezione costante, che li forza ad assumere un flusso laminare o quasi laminare; al di la del canale i flussi entrano nella zona di raccolta propriamente detta o camera di calma (death space Gardner, 1996 e 1997) in cui la subitanea diminuzione di velocità che qui subiscono i flussi di corrente induce la precipitazione del materiale sospeso nei flussi in ingresso.

Sono stati concepiti differenti prototipi basati sullo stesso principio ma con differenti forma del canale di adduzione e dell'intersezione tra canale e camera di calma e si sono definiti i parametri geometrici (Rapporto di Velocità **Rv** e Rapporto di Aspetto **Ra**) caratteristici di ciascun design che influenzano l'efficienza della trappola. Un prototipo è stato poi realizzato, per poterlo testare in laboratorio. Abbiamo testato il nostro apparato in un flusso forzato di acqua artificialmente arricchita di sedimento dalle caratteristiche note; si è così arrivati a valutare il comportamento della trappola sul lungo periodo ponendo particolare attenzione alla efficienza della trappola al variare della velocità della corrente ed alla relazione ed alle differenze tra il materiale intrappolato ed il materiale effettivamente in transito nel flusso di corrente. Dati e diagrammi sono riportati e mostrano l'effettivo funzionamento della trappola e i differenti comportamenti del prototipo nelle varie condizioni di test.

1. PREMESSA

Si è considerato il problema della valutazione di flussi orizzontali di particelle in ambienti di alta energia, ove le intense correnti attive disturbano la sedimentazione delle particelle in sospensione e possono causare importanti trasferimenti orizzontali di materia. In diversi laboratori si è affrontato il problema del corretto campionamento con trappole per sedimenti e sono state sviluppate linee di ricerca diverse tra loro; in alcuni casi si è indagato utilizzando come laboratorio le acque di un fiume, per individuare i limiti di efficienza delle trappole (Butman 1986), in altri si è preferito effettuare e valutare prove in laboratorio, con susseguenti indagini sul terreno (Gardner, 1980; Heussner *et al.,* 1990; Gust *et al.,* 1992 e 1994). Un vasto settore di ricerche, a partire dagli anni 1970, è stato sviluppato utilizzando trappole di diverso disegno e con soluzioni tecniche diverse (Gardner, 1980; Blomqvist & Kofoed, 1981; Gardner, 1985; Lee *et al,* 1992; Peterson *et al,* 1993; Hansel *et al,* 1994; Gardner & Zhang, 1996; Gardner *et al.,* 1997). Attualmente sono stati acquisiti alcuni punti fermi su forma, rapporti dimensionali, range di campionamento e sui metodi di raccolta da utilizzare con le trappole per sedimenti (JGOFS, 1994). Resta sempre in fase di studio l'efficienza del sistema in presenza di forti correnti ed è in questa problematica che abbiamo inteso fornire un contributo con lo sviluppo di una trappola capace dì campionare i flussi orizzontali di materiale particellato.

2. ANALISI DEL FENOMENO

Partendo dalla definizione di flusso verticale di particelle in ambiente stazionario ($\mathbf{F_v}$), definito come la quantità di materia in transito attraverso una sezione unitaria orizzontale nell'unità di tempo, si può definire, per analogia, un flusso orizzontale ($\mathbf{F_o}$) come la quantità di materia in transito, attraverso una sezione unitaria verticale nell'unità di tempo; si può così giungere alla descrizione dei flussi complessivi attivi in una situazione reale, in cui una corrente laterale modifica il moto di caduta delle particelle attraverso il mezzo liquido; si definisce così la composizione dei due flussi ($\mathbf{F_v} + \mathbf{F_o}$) dipendente dall'intensità e dalla direzione, nella terna x,y,z, della corrente attiva in quel momento, e dalla forza di gravita agente sulle particelle solide.

Gli ambienti ad alta energia, citati in premessa, sono quelli in cui la componente di velocità dovuta alla forza gravitazionale è molto minore di quella dovuta alla corrente. Per semplificare il nostro approccio viene fatta l'ipotesi che le componenti dovute alla corrente agiscano esclusivamente sul piano orizzontale: in ogni momento quindi i due vettori F_v ed F_0 sono ortogonali e giacciono su di un piano passante per un asse verticale.

La indipendenza ipotizzata tra F_v ed F_o non è completamente verificata sperimentalmente: infatti in ambienti caratterizzati dalla presenza di correnti, si sono riscontrati grossi problemi nell'utilizzo di trappole passive di tipo tradizionale (cilindriche o coniche) in quanto l'azione dei vortici generati dall'interferenza tra il loro bordo e la corrente (Fig. 1) induce una duplice perturbazione che, da una parte, immette nella trappola particelle che naturalmente stanno transitando con moto sub-orizzontale attraverso quella sezione, e che quindi andrebbero conteggiate nei flussi $\mathbf{F_o}$ e, dall'altra, "rubano" particelle già sedimentate entro la trappola, che andrebbero conteggiate nei flussi $\mathbf{F_v}$.

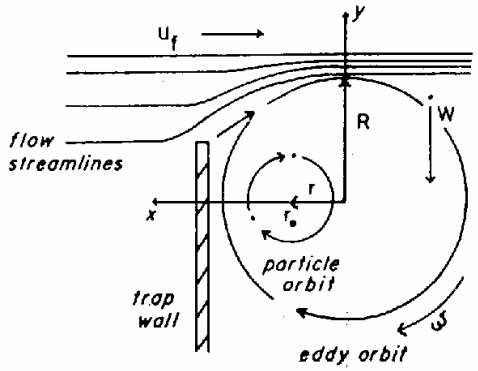


Fig. 1 - Vortici generati dall'interferenza tra il bordo della trappola e una corrente (da Butman *et al,* 1986).

La misura effettuata in presenza di corrente con una trappola di tipo tradizionale è quindi affetta da una serie di errori dipendenti dall'interferenza che essa genera con l'ambiente circostante; questi errori non sono facilmente stimabili e correggibili utilizzando tabelle di taratura derivate dalle attuali esperienze di laboratorio. Si è quindi intrapreso lo studio di un apparato da porre in questi ambienti, parallelamente alle trappole

tradizionali, in grado di darci ragione dei flussi $\mathbf{F_o}$, e quindi permetterci una stima corretta della entità e della variabilità di entrambi i flussi agenti nell'area di campionamento della trappola.

3. LA FILOSOFIA PROGETTUALE

Un apparato che arrivi a misurare i valori $\mathbf{F_0}$ di flusso orizzontale può essere pensato utilizzando una filosofia progettuale che contempli un campionamento di tipo attivo oppure di tipo passivo.

3.1. Sistemi attivi

I sistemi attivi attualmente esistenti misurano flussi verticali e sono genericamente realizzati come apparati che compiono misure di corrente accoppiate a misure di particeliato totale in un volume unitario in transito.

Per le misure di corrente si utilizzano correntometri meccanici, doppler o di altra tipologia, mentre, per le misure di particellato, o si ricava il dato quantitativo tramite filtrazione periodica ed automatizzata di un campione d'acqua oppure ci si affida al dato fornito da trasmissometri e nefelometri che, se da un lato hanno il vantaggio di consentire indagini su lungo periodo, come i correntometri, dall'altro presentano il difetto di fornire un dato che è difficilmente correlabile con una quantità certa di particellato in transito e necessitano perciò di periodiche operazioni di taratura in situ, cioè di campionamenti con bottiglie per misure dirette di concentrazione.

Gli apparati attivi, a fronte di una buona qualità del dato ottenibile, hanno sostanzialmente diversi tipi di svantaggi:

- sono soggetti, come tutti i tipi di sistemi attivi utilizzati in mare, a rischi di avaria (allagamenti, consumo rapido delle batterie, anomalie dei sistemi di acquisizione, avarie meccaniche, ecc.) ulteriormente amplificati dalla complessità del sistema che necessità dell'interazione di almeno due apparati per fornire un dato attendibile;
- prevedono investimenti consistenti sia per la costruzione sia per funzionamento e manutenzione;
- presentano necessariamente una autonomia limitata nel tempo, definita dalla capacità delle batterie e dal fabbisogno di energia degli apparati.

Gli svantaggi sopra ricordati precludono ad una installazione in ambienti difficilmente raggiungibili, ove diventa elevato il rischio di perdita degli apparati stessi o difficilmente valutabile la significatività dei campioni raccolti.

3.2. Sistemi passivi

I sistemi passivi possono essere lasciati a dimora per tempi lunghi, anche in siti difficilmente raggiungibili, e presentano un costo di realizzazione ed esercizio contenuto. Strumenti con tali specifiche sfruttano le proprietà idrodinamiche del flusso dell'acqua in cui sono immersi o che li attraversa per effettuare la principale funzione del campionamento. Tali strumenti potrebbero comunque, per svolgere funzioni di minore importanza, fare poi uso di elementi motorizzati alimentati a batteria, come i caro-

selli di bottiglie montati sulle trappole classiche o altro.

Le considerazioni sopra espresse ci hanno indotto a studiare un campionatore passivo, visto come uno strumento che confini una regione di spazio, consentendo il passaggio al suo interno ai soli flussi orizzontali, isolato da ciò che precipiterebbe verticalmente attraverso la sua sezione orizzontale, e che sia in grado di attivare la precipitazione del particellato presente nel volume d'acqua che lo attraversa.

Ciò deve essere fatto tenendo ben presenti le condizioni dinamiche in cui si vuole operare perché, mentre un campionatore tradizionale è concepito per operare in un fluido sostanzialmente fermo ed in cui le sole particelle in moto scendono verso il basso, il nostro progetto dovrà invece tenere conto del fatto che si vuole costruire una struttura che deve porsi in una massa d'acqua in movimento, e che quindi necessariamente andrà ad interagire con il nostro apparato.

Occorrerà quindi porre particolare attenzione a minimizzare le interferenze, riducendo al massimo le alterazioni nel flusso normale del fluido e le perdite di carico entro il campionatore, per evitare che esso venga "visto" come un corpo estraneo e quindi semplicemente scavalcato dalla corrente.

4. IL PROGETTO

Partendo dalla considerazione che è la velocità della corrente il parametro fondamentale su cui intervenire, dato che tanto più essa è intensa, tanto maggiore è la capacità di una corrente di mantenere in sospensione delle particelle solide e di trasportarle (Bagnold, 1996) si è deciso che l'apparato in progetto doveva:

a) avere la possibilità di orientarsi secondo la corrente;
b) consentire esclusivamente l'ingresso ai flussi orizzontali;
e) indurre al suo interno una diminuzione di velocità nella corrente, in modo da permettere il rilascio del carico sospeso in una zona prescelta per il campionamento (camera di calma);
d) essere trasparente rispetto alla corrente; si voleva arrivare a costruire un oggetto che inducesse le minori perturbazioni possibili.

Si è quindi pensato un design di trappola (Fig. 2) che risulta sostanzialmente costituito da 3 parti distinte:

1) un condotto di ingresso a sezione costante attraverso cui incanalare i flussi di corrente entro la trappola;
2) una zona centrale, la camera di calma, in cui indurre la diminuzione di velocità per causare la precipitazione del materiale in sospensione;
3) un condotto di uscita, la cui geometria deve tenere conto dell'ambiente in cui la trappola deve essere installata e delle perdite di carico all'interno della stessa.

Per soddisfare il punto "d" della fase progettuale il condotto di ingresso è stato progettato di sezione costante, ma di forma variabile, passando da quadrata all'imbocco fino a rettangolare, molto sottile ed allungata, in prossimità dello sbocco nella camera di calma; questo per non indurre indesiderati effetti idrodinamici (Fig. 2).

La forma che si ottiene è una specie di becco di flauto a facce piane, con la faccia superiore orizzontale e le altre variamente inclinate; questa forma del canale ci consente

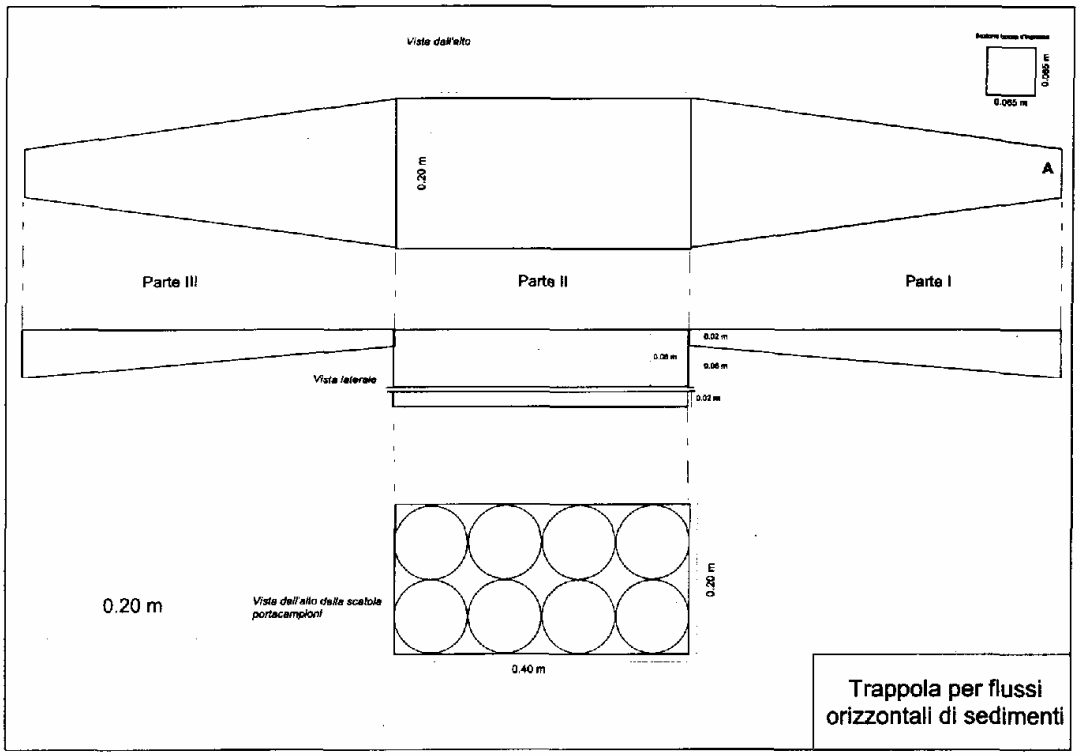


Fig. 2 - Tavola di progetto del prototipo di trappola con indicazione schematica delle parti costituenti.

di iniziare a spezzare i vortici di maggiori dimensioni che si formano in ingresso all'entrata del canale, con correnti piuttosto intense, e di immettere un flusso quasi laminare nella camera di calma. Con questa conformazione si causa un lieve aumento della perdita di carico perché una particella, entrando nel condotto, deve risalire delle superfici equipotenziali prima di sfociare nella camera di calma.

Osservando che, poiché il flusso totale O attraverso le varie sezioni dello strumento resta costante, e $\Phi=V*S$, ove V_i ed S_i sono velocità e sezione all'ingresso, nella camera di calma sarà $V_c=Vi*S_i/S_c$; quindi il rapporto tra le velocità sarà uguale all'inverso del rapporto tra le sezioni. Si può così definire un primo parametro numerico utile a descrivere la trappola che stiamo progettando: il rapporto di velocità **Rv** (sezione della camera di calma/sezione del condotto di adduzione), espressivo della diminuzione di velocità indotta dalla geometria dell'apparato all'ingresso della camera di calma.

La diminuzione di velocità non è il solo meccanismo attraverso cui avviene la cattura, dato che le particelle molto piccole, anche a velocità molto basse, non vengono rilasciate dalla corrente; dobbiamo però considerare il fatto che una diminuzione di velocità fa comunque variare le traiettorie di moto di queste particelle più fini e le modifica facendole passare da un moto sub-rettilineo a uno parabolico, più o meno incurvato verso il basso, in dipendenza della variazione di velocità e dalla massa della particella in questione.

Ammettendo di avere una serie di particelle che assumono una traiettoria incurvata verso il basso, ma che non precipitano direttamente al fondo della camera di calma,

noi possiamo pensare di catturarle egualmente allungando debitamente la camera nella direzione del moto delle stesse in maniera tale che, una volta entrate nel volume della camera, esse non riescano più ad uscire dal condotto di uscita e, permanendo lì per un tempo sufficientemente lungo, arrivino finalmente al fondo.

Si definisce così un secondo parametro numerico caratteristico del design di trappola da noi ipotizzato: il rapporto d'aspetto **Ra** (altezza della camera di calma / lunghezza) che ci da indicazione sulla maggiore o minore efficienza dell'apparato in relazione alle granulometrie più fini del sospeso.

Quindi, sulla base di tutto quanto prima esposto, il nostro modello presenta:

$$\mathbf{Rv} = 4 \quad \text{e} \quad \mathbf{Ra} = 5.$$

Al fondo della trappola si è previsto di fissare una serie di campionatori equispaziati, in modo da cercare di risalire dall'analisi della distribuzione spaziale delle granulometrie campionate alla comprensione dell'effettivo comportamento della trappola durante le fasi di cattura.

5. LA REALIZZAZIONE DEL PROTOTIPO

Una volta definito il prototipo si è passati alla sua realizzazione in laboratorio utilizzando a tale scopo del lamierino di rame per le indubbie caratteristiche di malleabilità e facilità costruttiva.

Il prototipo realizzato è mostrato in Fig. 3 già posizionato nella vasca ove sono stati condotti i test di funzionamento; si può notare anche il supporto al paranco meccanico di sollevamento che garantiva l'orizzontalità del sistema durante le movimentazioni della trappola.

Per le prove in vasca abbiamo anche realizzato un condotto supplementare a sezione quadrata, analoga a quella della bocca di ingresso, collegato ad una pompa di ricircolo per i test in flusso forzato. Questo allo scopo di consentire una regolarizzazione dei filetti fluidi prima dell'ingresso nell'apparato e per simulare una situazione simile a quella che caratterizza l'uso in mare.

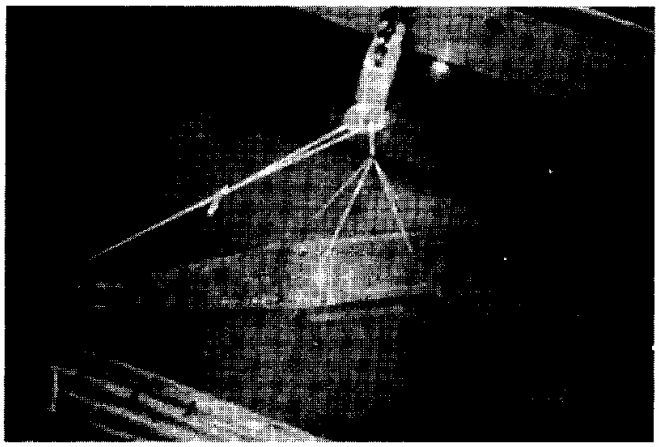


Fig. 3 - Trappola completa pronta per i test di funzionamento in vasca.

6. TEST DI FUNZIONAMENTO

L'idea iniziale era quella di procedere ad un test in vasca in cui fosse possibile mantenere un flusso di corrente noto sia all'interno sia all'esterno della trappola; ci siamo prestò resi conto che questo non era possibile, sia per la mancanza di impianti adeguati, sia per la mancanza di sensori di dimensioni adatte ad operare con sufficiente precisione entro volumi così piccoli come quelli del nostro prototipo, senza perturbare in maniera significativa i filetti idrici.

Si è quindi optato per la realizzazione di test a flusso forzato di acqua opportunamente "arricchita" con quantitativi differenti di materiale particellato e pompata a velocità diverse all'interno del nostro apparato, per misurare così il funzionamento dello stesso al variare dei due parametri concentrazione e velocità.

Supponendo di far lavorare la trappola in un campo di velocità V_0 che sposta attraverso una sezione verticale unitaria nell'unità di tempo, la quantità di materiale particellato Qo, il test inizialmente previsto ci poteva dare indicazioni sull'efficienza della nostra trappola e sulle perdite di carico indotte nel flusso di corrente dalla presenza dell'apparato, ed era rappresentabile con p tale che:

$$V_o - \rho = V_{int},$$

La nuova modalità di prova, invece, ci da solo ragione dell'efficienza in rapporto alla V_{int} e non ci fornisce, per contro, alcuna conoscenza del termine ρ che possiamo solo supporre diverso per ogni configurazione di trappola eventualmente utilizzabile, con le varie combinazioni possibili tra Rapporto di velocità e Rapporto d'aspetto.

L'apparato utilizzato durante questo tipo di misurazioni era formato essenzialmente da una pompa e da una vasca polmone collegati con delle tubazioni al prototipo da testare, così come esemplificato nello schema riportato in figura 4.

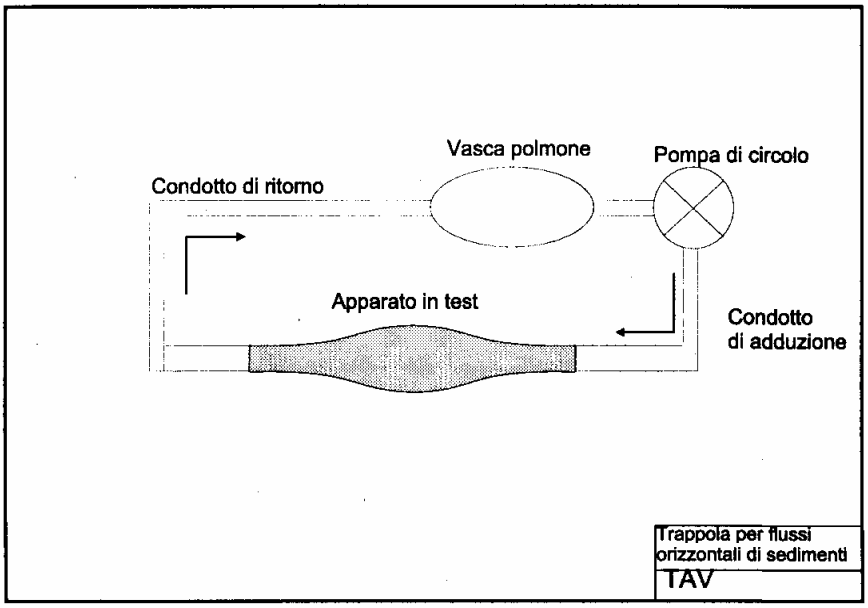


Fig. 4 - Schema del circuito utilizzato per il test in flusso forzato.

Durante l'esecuzione di ogni prova sono stati misurati:
a) la concentrazione di particellato sospeso nel fluido;
b) lo spettro granulometrico del particellato immesso;
e) la velocità Rv del fluido nell'apparato;
d) la quantità di particellato campionata dall'apparato;
e) lo spettro granulometrico del materiale campionato.

Sono state eseguite due serie di prove (test 1 e 2) utilizzando acqua con una concentrazione di particellato pari a 10 mg/l. Questo valore è superiore ai valori oceanici variabili tra 0.05 e 3 mg/l (Biscaye & Eittreim, 1977; Carter *et al.,* 1981; Gardner *et al.,* 1985; Tucci *et al.,* 1999); si avvicina a quelli mediterranei variabili tra 0.5 e 5 mg/l nelle acque d'altura (Pierce *et al.,* 1981, Frache *et al.,* 1986) ed è congruo ai valori riscontrabili in ambienti ad alta dinamica come foci fluviali ed aree ad alta produttività (Ferretti *et al.,* 1989; Aubert *et al,* 1990; Budillon *et al,* 2000). La scelta del limite superiore è stata effettuata per agevolare la fase sperimentale.

Il "test 1" è stato condotto con una velocità di flusso di 0.25 m/s e per una durata di 72 h; il "test 2" con una velocità di flusso di 0.125 m/s e per una durata di 168 h (7 gg). Le due velocità misurate nei condotti di adduzione e di uscita hanno prodotto nella camera di calma velocità di 0.06 m/s, durante il "test 1", e 0.03 m/s, durante il "test 2". Queste velocità medie sono state considerate omogenee nell'intera camera di calma, supponendo istantanea la diminuzione di velocità in ingresso.

Le differenti durate della prova sono state scelte in maniera tale da far passare attraverso l'apparato una quantità analoga di fluido e poter così produrre dati comparabili; sono transitati attraverso la trappola durante il "test 1" ca. 260 m^3 di acqua mentre durante "test 2" ne sono transitati ca. 300 m^3.

Si è campionato, per le analisi successive, il liquido che fluiva attraverso la trappola ed il materiale raccolto dalla trappola stessa alla fine di ogni test.

E' apparso subito evidente che l'apparato aveva campionato materiale (Fig. 5) e questo ha costituito la dimostrazione della ragionevolezza della direzione progettuale intrapresa. Inoltre il materiale raccolto era selezionato secondo la tessitura, con le granulometrie maggiori raggruppate nei pressi dell'inizio della camera di calma e quindi quelle sempre più fini; tutto questo in accordo con quanto postulato in fase di progetto.

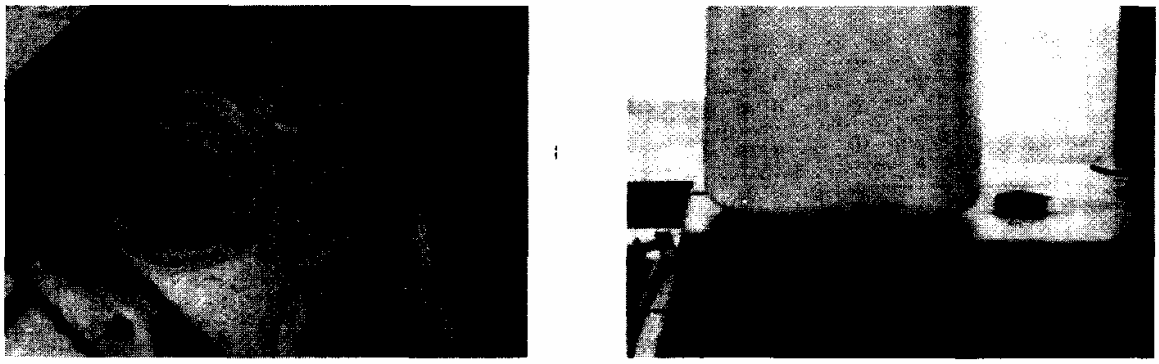


Fig. 5 - Dettaglio del materiale campionato nel vassoio (a sinistra) e recipiente con tutto il materiale raccolto (a destra).

Il materiale raccolto è stato poi analizzato in laboratorio per calcolare il flusso sedimentario e la granulometria da porre in relazione con i dati di input e determinare il rendimento, sia in termini percentuali sia in termini di flusso campionabile per unità di superficie.

7. RISULTATI DEI TEST

Riportiamo i dati caratteristi di ciascuno dei due test:

	Test 1	Test 2
velocità nei condotti	0.25 m/s	0.125 m/s
velocità nella camera di calma	0.0625 m/s	0.03125 m/s
durata	72 h	168 h
liquido raccolto nella trappola	0.8701	0.8701
materiale solido intrappolato	100.35 mg	407.41 mg
efficienza percentuale	0.00385%	0.01323%
flusso per unità di superficie	8.33 g/m^{2}g	14.55 g/m^{2}g

Questi risultati ci mostrano chiaramente come la configurazione utilizzata (Rapporto di velocità 4x, Rapporto d'aspetto 5) dia risultati migliori alla velocità più bassa di flusso (0.125 m/s), anche se l'efficienza della trappola, specialmente dal punto di vista del flusso campionabile per unità di superficie, sia ancora buona con velocità alte di flusso. Dobbiamo considerare che velocità di corrente di 0.25 m/s sono intense, tanto da indurre sul fondo effetti di risospensione e il fatto di avere una apparato che possa campionare dei flussi laterali di particelle a queste velocità rappresenta un valido aiuto agli studi su ambienti sottoposti ad alta energia.

Per l'analisi dei risultati ottenuti dal punto di vista granulometrico abbiamo analizzato il materiale utilizzato inizialmente e quello campionato dalla trappola nei due casi; si è utilizzato un Coulter Counter Multisizer II e sono, di seguito, rese le curve granulometriche espresse in volume percentuale (Figg. 6, 7 e 8).

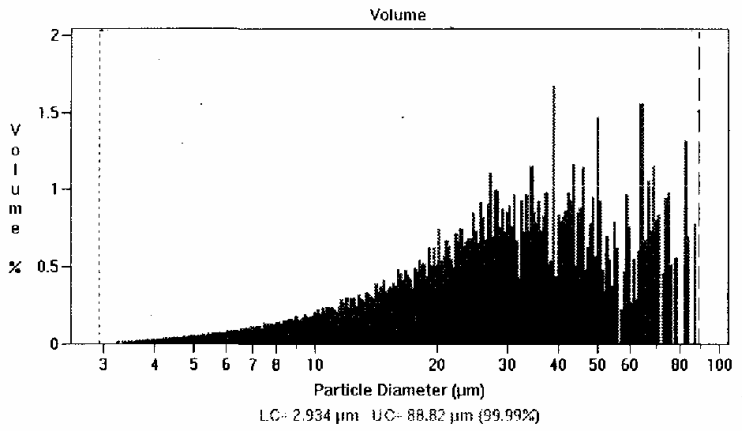


Fig. 6 - Curva granulometrica del materiale utilizzato per i test.

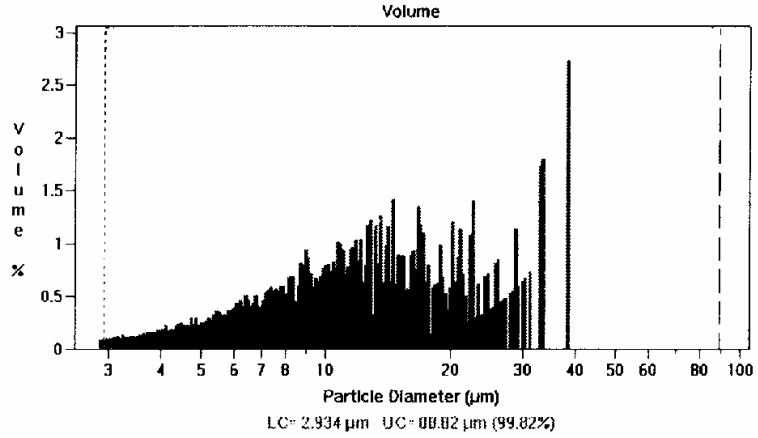


Fig. 7 - Curva granulometrica del materiale intrappolato durante test 1.

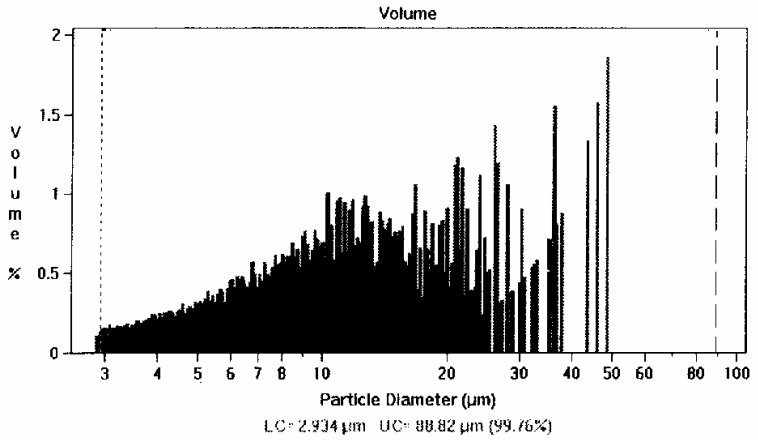


Fig. 8 - Curva granulometrica del materiale intrappolato durante test 2.

Si può osservare come il materiale intrappolato alle due differenti velocità abbia una curva granulometrica molto simile e ben rispondente con quella del materiale utilizzato fino ai 40 µm Questo indica che lo strumento non ha indotto, fino a queste dimensioni una sedimentazione selettiva, ma questa è indipendente dalle dimensioni delle particelle. La parte superiore dello spettro granulometrico risulta troncata nei campioni prelevati nella trappola; questa assenza di particelle oltre i 40 µm, può essere spiegato considerando una cattura selettiva indotta dalla caduta di velocità alla bocca oppure ipotizzando un difetto di miscelazione nella vasca di accumulo con una sospensione, quindi, quasi esclusivamente formata dalle particelle più piccole.

8. PROSPETTIVE FUTURE

Un apparato costituito con le specifiche tecniche sopra riportate avrà, ovviamente, un range di utilizzo ottimale centrato su di una velocità propria che varierà in dipenden-

za di Rv ed Ra e del rapporto tra le due grandezze, e tenderà ad avere una scarsa efficienza sia in presenza di correnti molto più forti, sia in presenza di correnti molto deboli e molto disperse sul piano orizzontale, dato che, per questioni di inerzia, potrebbe non riuscire ad orientarsi con la corrente.

Naturalmente si potrà influire su quest'ultima limitazione di utilizzo progettando dimensioni adeguate della trappola e/o dotandola di opportune appendici idrodinamiche, accoppiate con un appropriato sistema di sospensione, per favorire il riallineamento dello strumento con la corrente.

Lo sviluppo sperimentale successivo prevede, in laboratorio, di individuare i limiti critici di velocità di trasporto e sedimentazione del materiale sospeso; sul campo saranno, invece, poste in opera una trappola tradizionale per la raccolta dei flussi verticali ed un prototipo della trappola per flussi orizzontali; entrambi i sistemi saranno dotati di strumentazione atta a rilevare le caratteristiche fisiche e dinamiche della massa d'acqua ed i dati di trasmissione di luce per arrivare alla comparazione tra i due dati.

BIBLIOGRAFIA

Aubert M., Boisson M., Fierro G., Tucci S., Drai C.G., Emerj C., Falchi G., Hugues G., Marmentau C., Mathonnet S., Pucci R., Revillon P. & Zaccone P. 1990. Mers d'Europe: etudes hidrologiques, chimiques et biologiques. *Rev. Intern . Océanogr. Méd.,* Tome XCIX, 36 pp.

Bagnold R.A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. In Physiographic and hydraulic studies of rivers. *U. S. Geol. Surv. Prof.* Pap. 422Washington, U.S.A, 37 pp.

Biscaye PE & Eittreim SL 1977. Suspended particulate loads and transports in the nepheloid layer of the abyssal Atlantic Ocean. *Mar. Geol.,* 23: 155-172.

Blomqvist S. & Kofoed C. 1981. Sediment trapping - a subacquatic in situ experiment, *Limnol. and Ocenog.,* 26: 585-590.

Budillon G., Grotti M., Rivaro P., Spezie G. & Tucci S. 2000. Physical and geochemical signatures associated with the water circulation along the Ancona coastal area. (PRISMA-2 Project). (In press). In: Structures and processes in the mediterranean ecosystem. Springer Verlag, Berlin.

Butman C.A. 1986. Sediment trap biases in turbolent flows: Results from a laboratory flume study, *J. Mar. Res.,* 44: 645-693.

Butman C. A., Grant W.D. & Stolzenbach K.D. 1986. Predictions of sediment trap biases in turbolent flows: A theoretical analysis based on observations from litterature, .7 *Mar. Res.,* 44: 601-643.

Carter L, Mitchell J.S. & Day N.J. 1981. Suspended sediment beneath permanent and seasonal ice, Ross Ice Shelf, Antarctica. *New Zealand Jour. Geol. Geoph.,* 24: 249-262.

Ferretti O., Nicolai I., Bianchi C.N., Tucci S., Morri C. & Veniale F. 1989. An environmental investigation of a marine coastal area: Gulf of Gaeta (Thyrrenian sea). *Hydrobiologia,* 176-177: 171-187.

Frache R., Baffi F., Fabiano M., Piccazzo M., Corradi N. & Tucci S. 1986. Studies on the particulate matter in the Ligurian Sea. *Wat. Sci. Tech.,* vol. 18: 314.

Gardner W.D. 1980. Field calibration of sediments trap, *J. Mar. Res.,* 38: 17-39.

Gardner W.D. 1985. The effect of tilt on sediment trap efficiency. *Deep-Sea Res.,* 32: 349-361.

Gardner W.D., Biscaye P.E. & Richardson M.J. 1997. A Sediment trap Experiment in the Verna Channel to Evaluate the Effect of Horizontal Particle Fluxes on Measured Vertical Fluxes *J. Mar. Res.,* 55: 995-1028.

Gardner W.D., Southard J.B. & Hollister C.D. 1985. Sedimentation, resuspension and chemistry of particles in the northwest Atlantic. *Mar. Geol.,* 65*:* 199-242.

Gardner W.D. & Zhang Y. 1996. The effect of brine on the collection efficiency of cylindrical sediment traps. *J. Mar. Res.* 55: 1029-1048.

Gust G., Byrne R.H., Bernstein R.E., Betzer P.R. & Bowles W. 1992. Particle fluxes and moving fluids: experience from synchronous trap collections in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Res.,* 39: 1071 -1083.

Gust G., Michaels A.F., Johnson R., Deuser W.G. & Bowles W. 1994. Mooring line motions and sediment trap hydromechanics: in situ intercomparison of three common deployment designs. *Deep-Sea Res.,* 41: 831-857.

Hansel D.A. & Newton J.A. 1994. Design and evaluation of a "swimmer"-segretating particle interceptor trap. *Limnol. Oceanogr.,* 39: 1487-1495.

Heussner S., Ratti C. & Carbenne J. 1990. The PPS 3 time series sediment trap and the trap sample processing techniques used during ECOMARGE experiment. *Cont. Shelf, Res.,* 10: 943-958.

Lee C., Hedges J.I., Wakeham S.G. & Zhu N. 1992. Effectiveness of various treatments in retarding microbial activity in sediment trap material and their effects on the collection of swimmers. *Limnol. Oceanogr.,* 37: 117-130.

Peterson M.L., Hernes P.J., Thoreson D.S., Hedges J.I., Lee C. & Wakeham S.G. 1993. Field evaluation of a valved sediment trap. *Limnol. Oceanogr.,* 38: 1741-1761

Pierce J.W., Tucci S. & Fierro G. 1981. Assessing variation in suspensates, Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). *Geo-Marine Letters,* 1: 149-154.

Tucci S., Ferrari M. & Capello M. 1999. Actual sedimentation on the antarctic continental shelf (Southern part of the Ross Sea). In: Oceanography of the Ross Sea - Antactica. Springer Verlag Berlin: 197-208.

JGOFS. 1994. Protocols for the joint global ocean flux study, core measurements. Unesco, Manual and guides 29, 170 pp.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.LO.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 113-122, luglio 2000

ATTIVITÀ' DEI POPOLAMENTI BATTERICI ETEROTROFI NEL LAGO MAGGIORE

Roberto BERTONI, Stefania MARTINELLA

CNR - Istituto Italiano di Idrobiologia, Verbania Pallanza

ABSTRACT

A wide portion of the organic carbon in lakes is dissolved or in form of particles and organisms of microscopic size. In Lake Maggiore, for instance, the particulate organic carbon (POC) made up by particles < 2µm in size is 35% of total POC. This result underline the importance of picoplankton in the organic carbon cycle of the lake, and in particular of its heterotrophic fraction, by far the more abundant in the size range 0.2-2 µm. We studied from September 97 to December 1998 the heterotrophic bacterial activity in the euphotic zone of Lake Maggiore with the [^{14}C]-Leucyne (Leu) and [^{3}H]-Tymidine (Tym) uptake method, Bacterial population density was evaluated by epifluorescence microscope after DAPI staining. Particulate and Dissolved (DOC) Organic carbon concentration were also measured. The number of bacteria resulted correlated with tracers uptake, but the positive intercept of the regression of uptake on celli number suggests that not all the cells detectable by epifluorescence are active. The Leu/Tym uptake ratio resulted significantly inversely correlated with DOC concentration. As the two tracers have a different target (proteins and nucleic acids respectively), this result would suggest that the substrate availability could determine which is the most used tracer, i.e. which activity, proteins or nucleic acids synthesis, is the prevailing one. The bacterial carbon production as evaluated with Leu and Tym was, respectively, 4 and 5 times lower than the autotrophic picoplanktonic production, which is only a fraction of the total phytoplanktonic production. This result underline that the tracer uptake methods evaluate only the portion of the bacterial activity producing new biomass while they do not account for the role of heterotrophic bacteria as organic carbon sinkers.

RIASSUNTO

Una parte considerevole del carbonio organico presente in un lago è in forma disciolta o di particelle ed organismi con dimensioni microscopiche. Ad esempio nel Lago Maggiore il carbonio organico costituito da particelle con dimensioni inferiori a 2 µm (POC) è circa il 35% del totale. Questo sottolinea l'importanza, nel ciclo del carbonio organico del lago, della frazione picoplanctonica ed in particolare della sua componente eterotrofa.

Dal settembre 1997 al dicembre 1988 si sono effettuate nella zona eufotica del lago Maggiore stime di attività batterica eterotrofa misurando l'incorporazione di [^{3}H]-timidina (Tim) e [^{l4}C]-leucina (Leu) da parte dei popolamenti batteria. Di questi si è valutata la consistenza numerica con microscopia in epifluorescenza usando il DAPI come fluorocromo. Si è pure misurata la concentrazione del carbonio organico disciolto (DOC) e particellato (POC). Il numero di batter! è risultato significativamente correlato con l'incorporazione dei traccianti, ma l'intercetta positiva della retta di regressione di quest'ultima variabile sul numero di batteri suggerisce che non tutte le cellule contabili in epifluorescenza siano attive. Il rapporto tra le quantità di leucina e timidina incorporate è risultato inversamente correlato con la concentrazione di DOC. Questo suggerisce il prevalere dell'attività di accrescimento cellulare (incorporazione di leucina) a bassa concentrazione di DOC e, viceversa, il prevalere dell'attività di sintesi di acidi nucleici e quindi di duplicazione cellulare (incorporazione di timidina), quando il substrato diventa più abbondante. Infine, la produzione batterica valutata dall'incorporazione di leucina e timidina è risultata inferiore di 4 e 5 volte alla produzione picoplanctonica autotrofa, che è soltanto una parte della produzione fitoplantonica totale. I risultati ottenuti evidenziano che questo approccio metodologico permette di valutare soltanto la frazione di attività batterica che esita in produzione di nuova biomassa, senza tenere conto dell'attività batterica eterotrofa indirizzata alla mineralizzazione del carbonio organico.

1. INTRODUZIONE

Negli ambienti acquatici la biomassa batterica è risultata essere pari a circa il 20% della biomassa fitoplanctonica (Cole *et al.,* 1988) anche se in mare si sono misurate, in alcuni casi, biomasse di fito e batterioplancton pressoché equivalenti (Malone & Ducklow, 1990). Queste relazioni sono emerse da stime di biomassa basate su misure e conteggi microscopici. Si tratta, quindi, di valutazioni che sono caratterizzate da considerevole efficacia qualitativa, data l'elevata selettività tassonomica del metodo utilizzato, ma che sono meno robuste dal punto di vista quantitativo a causa dell'utilizzo di fattori di conversione per passare da valutazioni morfometriche a stime di biomassa.

Nel Lago Maggiore si è tentato un approccio diverso, studiando i rapporti quantitativi esistenti tra le diverse componenti del plancton su base analitica, misurandone il contenuto di carbonio organico. Si sono così ottenute stime della ripartizione della biomassa tra le diverse componenti planctoniche alle quali può essere associato un errore analitico misurabile (Bertoni & Callieri, 1997).

La ripartizione ottenuta è però basata su una selezione dimensionale e non tassonomica, con le ovvie limitazioni che questo comporta, che vede il plancton suddiviso in classi dimensionali arbitrarie, definite empiricamente, e soltanto debolmente in relazione con le caratteristiche tassonomiche e fisiologiche degli organismi in esse compresi.

La frazione picoplanctonica, che include particelle con dimensioni tra 0.2 e 2 µm (Sieburth *et al.,* 1978), è risultata essere pari al 35% circa del particellato organico totale del Lago Maggiore. Essa è costituita da particelle detritiche, dal picoplancton autotrofo e dal batterioplancton eterotrofo che, come biovolume, rappresenta il 90% degli

organismi picoplanctonici (Callieri & Pinolini, 1995). Anche nel Lago Maggiore, come già negli ambienti studiati nei lavori citati all'inizio, l'importanza quantitativa della frazione picoplanctonica è rilevante nonostante il suo intervallo dimensionale ben più ristretto di quello che include nano e microplancton (2-126 µm) ed il così detto plancton di rete (> 126 µm)(Fig. 1).

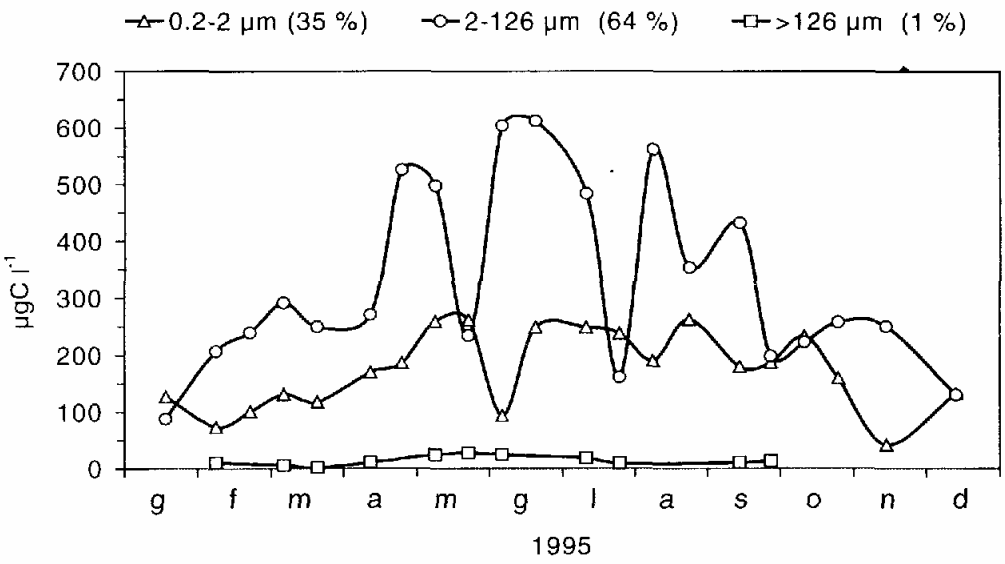


Fig. 1 - Variazione stagionale del carbonio organico particellato (POC) delle diverse frazioni dimensionali nel Lago Maggiore nel corso del 1995.

Dalla figura 1 emerge, inoltre, che la frazione picoplanctonica è soggetta ad una variabilità stagionale molto elevata, così che, dopo i picchi di concentrazione primaverili ed estivi, si verificano diminuzioni di concentrazione rispettivamente del 60% e del 80%.

Certamente fattori fisici (sedimentazione, cessazione invernale della stratificazione termica e ridistribuzione lungo la colonna d'acqua delle particelle confinate nell'ipolimnio nei mesi caldi) possono essere responsabili di tali cospicue variazioni di concentrazione del picoplancton. Esse possono anche dipendere dall'utilizzo di quest'ultimo da parte degli organismi che se ne nutrono (controllo top-down via grazing). Tali variazioni sono, ovviamente, anche il risultato delle attività dei popolamenti picoplanctonici, ed in particolare della più abbondante componente eterotrofa, dipendente dalla disponibilità di nutrienti e di substrato organico (controllo bottom-up).

Scopo di questo lavoro è quello di migliorare le conoscenze sulla notevole massa di materia organica confinata tra 0.2 e 2 µm (picoplancton) studiando le relazioni tra attività e abbondanza numerica di un suo importante componente: il picoplancton eterotrofo o batterioplancton.

L'attività e l'abbondanza degli organismi che fanno parte del batterioplancton sono legate tra di loro da una relazione complessa e sono largamente dipendenti dal metodo

di stima utilizzato così che non è possibile riferire in modo semplice ed univoco l'attività dei popolamenti batterici alla loro abbondanza e viceversa.

2. MATERIALI E METODI

Dal settembre '97 al dicembre '98 si sono effettuati campionamenti, mensili nei mesi invernali e quindicinali negli altri, alle profondità corrispondenti al 50% e al 10% della radiazione solare incidente, misurata con radiometro Licer. Tali profondità sono state scelte perché nel Lago Maggiore esse sono tipicamente rappresentative di due; condizioni ben diversificate di produzione primaria algale e, quindi, di abbondanza di substrato organico di recente produzione. Sui campioni si è misurata l'attività batterica con il metodo della Leucina marcata con [^{14}C] e della Timidina marcata con [^{3}H] (Simon, 1990). Si è pure valutata l'abbondanza del batterioplancton contando i batteri in epifluorescenza dopo colorazione con DAPI (Porter & Feig, 1980), colorante selettivo per gli acidi nucleici. Sugli stessi preparati si sono effettuate misure del biovolume cellulare con image analysis (Optimas, Bioscan). Parallelamente si è misurata la concentrazione del carbonio organico particellato (POC) con CHN analyser (ANA 1500, Carlo Erba) (Bertoni, 1978 e 1997) e del carbonio organico disciolto (DOC), calcolato per differenza tra le concentrazioni di POC e di carbonio organico totale (TOC), misurato con TOC analyser (5000A, Shimadzu).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Come si è detto prima, tra attività di un popolamento batterico e numero degli organismi che lo costituiscono esiste una relazione che non è semplice né diretta, anche se ci si può in generale attendere che le due variabili siano correlate. In effetti l'incorporazione di tracciante marcato è risultata, durante il periodo di studio, significativamente correlata con il numero di cellule batteriche sia per Timidina ($n= 46$, $r=0.588$; $P>0.001$) che per Leucina, ($n= 46$, $r=0.395$; $P<0.001$). Dallo scatterplot dei dati (Fig.2) è però evidente che, con entrambi i traccianti, si possono avere tassi di incorporazione uguali anche se il numero di batteri raddoppia. Questo risultato può, ovviamente, dipendere dalla diversa attività specifica di popolamenti batterici differenti. E' però anche possibile che i metodi normalmente in uso per valutare la consistenza numerica di un popolamento batterico lo stimino in modo scorretto essendo incapaci di discriminare tra cellule vitali e cellule inattive o morte. In effetti i fluorocromi specifici per gli acidi nucleici (DAPI ed Arancio di Acridina) normalmente utilizzati per i conteggi batterici potrebbero portare ad una sovrastima del batterioplancton potenzialmente attivo perché colorano anche cellule che, pur possedendo acidi nucleici residui, presentano danni tali da essere irreversibilmente inattive (Zweifel & Hagström, 1995; Søndergaard, 1999). Anche i dati da noi ottenuti sembrano suffragare questa ipotesi perché le rette di regressione dell'incorporazione dei traccianti sul numero di cellule batteriche presentano sempre una intercetta positiva sull'asse delle x, indicando quindi l'esistenza di una frazione inattiva del popolamento batterico. Questo risultato ha per ora il valore di una ipotesi di lavoro perché scarsità e dispersione elevata dei dati fanno si che l'intercetta

con l'asse delle ascisse non arrivi ad essere, per nessuno dei due traccianti significativamente diversa da zero.

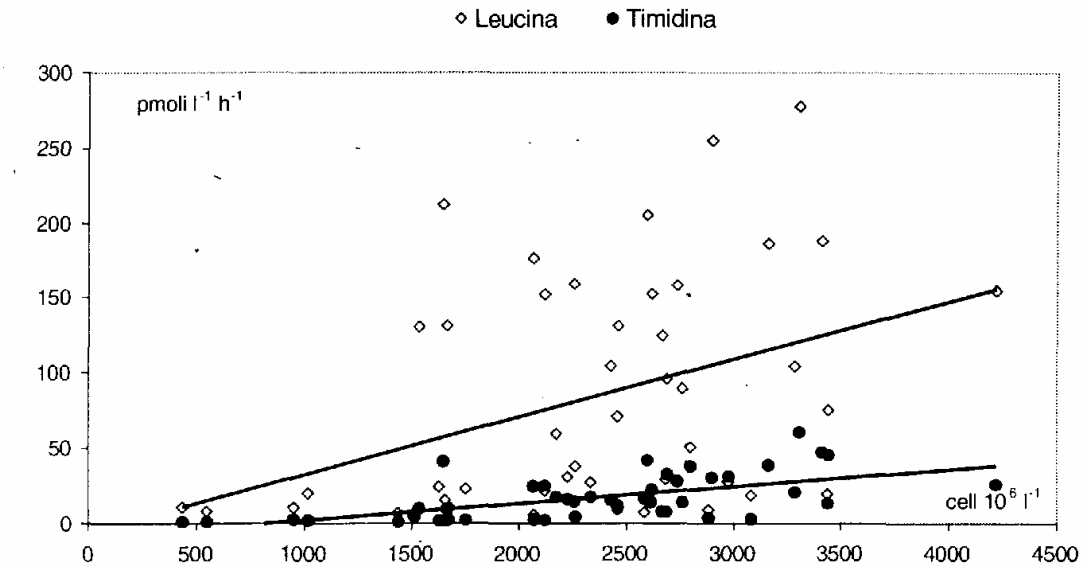


Fig. 2 - Relazione tra tasso di incorporazione di [^{14}C]-Leucina o [^{3}H]-Timidina (ρmoli l^{-1} h^{-1}) con la densità del popolamento batterico (cell 10^6 l^{-1}) del Lago Maggiore.

Un'altra osservazione che emerge dall'esame della figura 2, da suffragare con il supporto di un adeguato modello statistico, è che i popolamenti batteria non sembrano incorporare i due traccianti in modo proporzionale. In altre parole, con l'aumentare delle densità batteriche vi è una frazione crescente del popolamento che si accresce dimensionalmente (incorporazione di Leucina) ma non si duplica (incorporazione di Timidina). Questo risultato, non inaspettato poiché i due traccianti hanno effettivamente target diversi (sintesi proteica la Leucina e di acidi nucleici la Timidina), è trascurabile per chi con questi metodi stima la produzione batterica e, con opportuni fattori di conversione, trasforma il dato grezzo di incorporazione di tracciante in carbonio batterico prodotto nell'unità di tempo. Se però si mettono in relazione le due attività calcolando il rapporto tra le ρmoli di Leucina e di Timidina incorporate dal popolamento batterico nell'unità di tempo, ci si può aspettare che il rapporto aumenti quando l'incremento di biomassa (incorporazione di Timidina) è più importante rispetto all'incremento numerico, dipendente dalla sintesi di DNA (incorporazione di Leucina). In effetti ad un aumento del rapporto Leu/Tim a corrispondere un incremento del volume cellulare medio dei batteri. Questa è, tuttavia, una relazione che , per la sua scarsa significatività statistica ($n=46$; $r=0.246$; $P<0.05$) ha soltanto valore di ipotesi di lavoro e necessita di ulteriori verifiche sperimentali.

Per quanto riguarda il rapporto tra attività batterica e disponibilità di substrato organico, l'accoppiamento tra queste due variabili appare facilmente dimostrabile quando la sua verifica sperimentale è realizzata nell'ambito di un modello relativamente

semplice. E' la condizione che si verifica, per esempio, studiando monocolture in crescita su substrati di composizione nota ed erogati in quantità definita. Non è questo il caso dell'ambiente naturale, ove il substrato cambia nel tempo qualitativamente e quantitativamente ed il popolamento batterico è misto e, quindi, in grado di evolvere attraverso successioni di gruppi tassonomicamente diversi che dominano o regrediscono al mutare delle condizioni ambientali.

In effetti se si pongono in grafico la concentrazione di substrato organico disciolto (DOC) in lago ed i parametri che misurano l'attività (Fig. 3), si vede che la loro evoluzione temporale è discorde nel senso che non c'è un evidente accoppiamento tra intensità dell'attività e diminuzione del substrato.

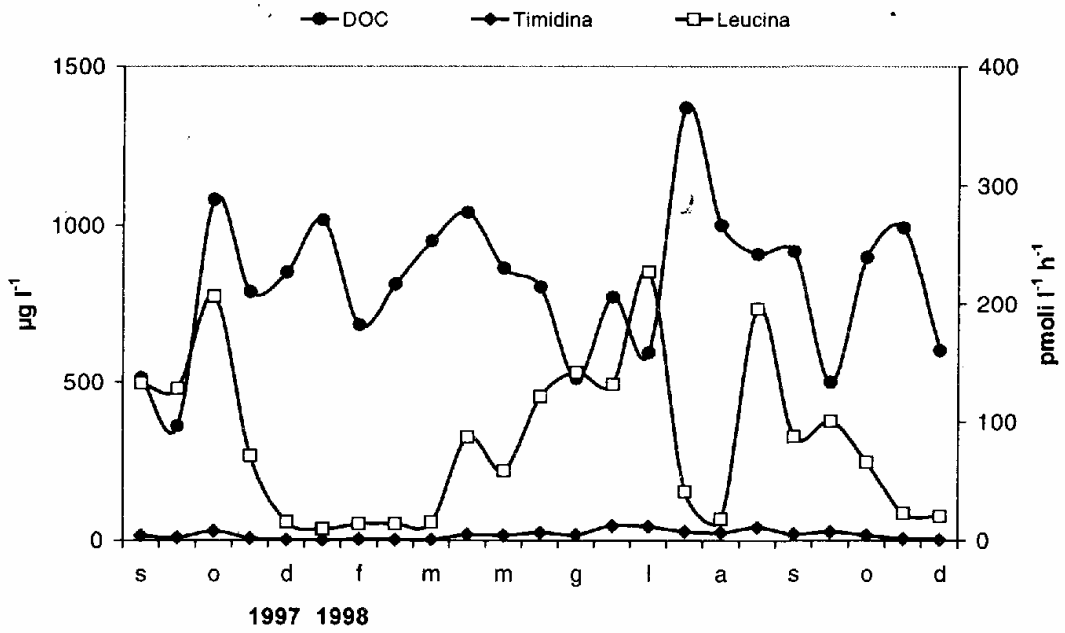


Fig. 3 - Variazione stagionale della concentrazione di carbonio organico disciolto (DOC) e del tasso di incorporazione della [^{14}C]-Leucina e della [^{3}H]-Timidina (ρmoli 1^{-1} h^{-1}) nel Lago Maggiore.

Confrontando invece il rapporto Leu/Tim con la concentrazione del substrato organico disciolto (DOC) emerge che queste grandezze sono legate da una regressione significativa inversa (Fig. 4). Questo suggerisce una dipendenza del tipo di attività dalla disponibilità di substrato. In particolare si ha il prevalere dell'attività di accrescimento cellulare a bassa concentrazione di substrato e, viceversa, il prevalere dell'attività di sintesi di acidi nucleici, e quindi di duplicazione cellulare, quando il substrato diventa più abbondante.

Questa fenomenologia suggerisce che la disponibilità o la carenza di substrato organico possano influenzare il metabolismo batterico indirizzandolo, rispettivamente, verso l'accrescimento dimensionale delle cèllule o l'aumento numerico della popolazione.

In altre parole, un'abbondanza di substrato porterebbe il metabolismo batterico verso un accrescimento, in termini numerici, della popolazione, mentre una minor

disponibilità lo indirizzerebbe verso un accrescimento in termini di grandezza delle cellule batteriche.

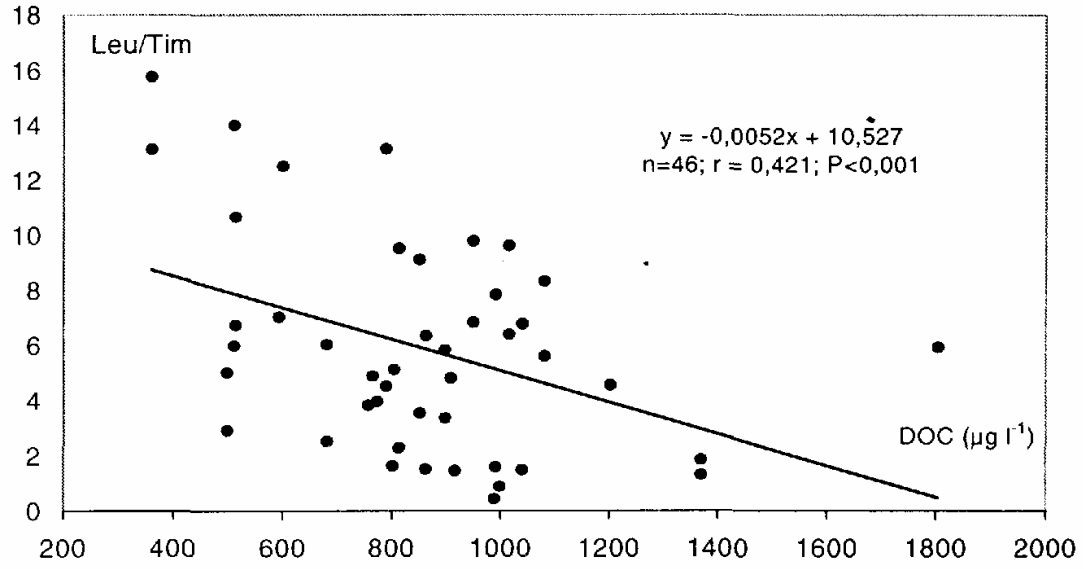


Fig. 4 - Relazione ira la concenti-azione di carbonio organico disciolto (DOC) e valore assunto dal rapporto tra il tasso di incorporazione della [^{14}C]-Leucina e quello della [^{3}H]-Timidina nel Lago Maggiore.

Si è già detto che densità e attività di un popolamento batterico sono variabili legate da una relazione complessa. Anche la biomassa batterica non è una funzione semplice del numero di cellule. Se, quindi, si vogliono utilizzare dati di conteggi batterici per stimare il contenuto in carbonio organico del popolamento picoplanctonico eterotrofo si avranno stime scorrette utilizzando fattori di conversione da numero a biomassa e, utilizzando fattori di conversione da biovolume a biomassa, si avranno valutazioni più realistiche utilizzando modelli allometrici come quello di Norland *et al.* (1993), capaci di tener conto del variare del carbonio cellulare al variare del biovolume cellulare.

Le stime di attività batterica dovrebbero permettere di valutare quanto substrato organico è utilizzato dai batteri per produrre nuova biomassa a disposizione dei grazers, per sostenere il metabolismo del popolamento batterico e per dissipare l'energia contenuta nel substrato organico. Le stime di attività basate sull'incorporazione di Timidina e/o di Leucina possono servire per valutare il carbonio particellato prodotto come nuove cellule batteriche, assumendo che si disponga di fattori di conversione corretti. Però, poiché non è nota l'efficienza di conversione del substrato organico in cellule batteriche, dalla produzione di queste (produzione netta) non è possibile conoscere la quantità di substrato utilizzato per mantenere il metabolismo batterico in loto (produzione lorda). C'è da sottolineare che l'efficienza della conversione substrato-cellula batterica non è, ovviamente, una costante essendo largamente dipendente dalla

quantità e dalla qualità del substrato organico, che può essere più o meno refrattario all'attacco microbico.

Una evidenza sperimentale dalle considerazioni appena illustrate emerge dal confronto tra i tassi orari di produzione di carbonio stimati dall'incorporazione di Leucina e Timidina, e le variazioni, pure orarie, di concentrazione del substrato organico disciolto, tutti espressi in µg C l^{-1} h^{-1}. Quest'ultimo dato è stato calcolato dalle differenze di concentrazione del DOC tra due campionamenti successivi (Fig. 5).

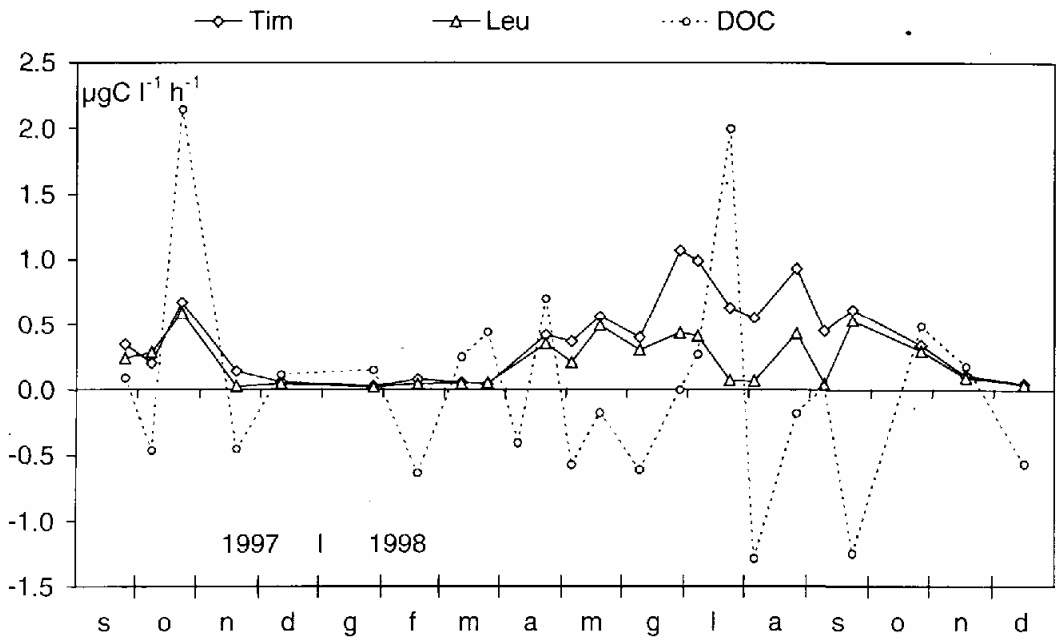


Fig. 5 - Tassi orari di produzione di carbonio batterico stimati dall'incorporazione di Leucina (Leu) e Timidina (Tim), insieme a incrementi (valori positivi dall'asse y) e decrementi (valori negativi dall'asse y) orari di concentra7ione del substrato organico disciolto (DOC).

Dalla figura appare chiaro che le incorporazioni di Timidina e Leucina presentano una evoluzione temporale sostanzialmente concordante mentre i processi di produzione e decomposizione del DOC sembrano attuarsi in un modo indipendente dalla incorporazione dei traccianti. In ottobre, ad esempio, si è avuta un'alta attività batterica ma non si è evidenziato un parallelo consumo di DOC mentre nel luglio '98 questo processo si è verificato con un'intensità elevata alla quale, però, non ha fatto riscontro una parallela alta incorporazione di traccianti.

Se si instaura un confronto tra produzione oraria picoplanctonica eterotrofa ed autotrofa (Callieri, dati non pubblicati) si trova che nel Lago Maggiore la prima è, mediamente, soltanto il 25% o 1' 11% (a seconda dell'isotopo utilizzato) della seconda.

In altre parole, solamente 1/4-1/5 del carbonio organico prodotto dal picoplancton autotrofo - che è solo una frazione della produzione fitoplanctonica totale - diventerebbe biomassa batterica. Questo risultato, per altro già osservato in altri ambienti (Ducklow, 1983; Güde, 1992), conferma che la produzione di carbonio batterico non può essere

considerata come una stima dell'attività metabolica totale del batterioplancton eterotrofo, della quale è in realtà una parte soltanto.

4. CONCLUSIONI

La classe dimensionale del picoplancton include una rilevante porzione del carbonio organico dell'ecosistema (35% del POC nel Lago Maggiore). Esiste, quindi, un forte interesse a misurare le attività microbiche autotrofe ed eterotrofe che contribuiscono a determinarne le modificazioni temporali.

Per quanto riguarda in particolare le misure di attività batterica basate sull'incorporazione di Leucina e di Timidina, è possibile 'che queste tecniche, valutando di fatto tipi diversi di attività batteriche (accrescimento cellulare e sintesi di acidi nucleici), forniscano stime differenti e variabili in l'unzione dell'attività prevalente. Quest'ultima sembra poi dipendere dalla disponibilità di substrato utilizzabile.

Infine è da ricordare che con l'incorporazione di Leucina e di Timidina si ottengono stime della produzione di biomassa batterica e non dell'attività metabolica batterica *in toto.* Di questo bisogna tener conto instaurando confronti con stime di produzione di biomassa autotrofa e valutando l'efficienza di conversione batterica dei prodotti dell'attività fotosintetica.

BIBLIOGRAFIA

Bertoni R. 1978. Automatic determination of carbon an nitrogen in suspended matter of natural water with Carlo Erba 1106 CHN elemental analyzer. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.,* 36:297-301.

Bertoni R. 1997. The routine use of anodisc™ filters with automatic CHN analysers. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.,* 56: 157-161.

Bertoni R. & Callieri C. 1997. Microbial loop and organic carbon in large southern Alpine lakes. *Documenta Ist. Ital. Idrobiol.,* 61: 201-224.

Callieri C. & Pinolini M.L. 1995. Picoplankton in Lake Maggiore, Italy. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol,* 80,3:491-501.

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

Ducklow H.W. 1983. Production and fate of bacteria in the ocean. *Bioscience,* 33: 494-501.

Güde H. 1992. Bacterial production and flow of organic matter in Lake Constance. In: Large Lakes: ecological structure and function (Tilzer M.M. & Serruya C. eds.) Springer Verlag New York. 24: 489-501.

Malone T.C. & Ducklow H.W. 1990. Microbial biomass in the coastal plume of Chesapeake Bay: Phytoplankton-bacterioplankton relationships. *Limnol. Oceanogr., 35: 296-3\2.*

Norland S. 1993. The relationship between biomass and volume of bacteria. In: Handbook of methods in aquatic microbial ecology (Kemp P.F., Sherr E.B. & Cole J. eds.) Lewis Publisher, Boca Raton: 303-307.

Porter K.G. & Feig Y.S. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.,* 25: 943-948.

Sieburth J.McN., Smetacek V. & Lenz J. 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relathionship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.,* 23 (6): 1256-1263.

Simon M. 1990. Improved assessment of bacterial production: combined of protein synthesis via leucine and cell multiplication via thymidine incorporation. *Ergeb. Limnol.,* 34: 151-155.

Søndergaard M. 1999. Bacterioplankton: how many and how active? *Verh. Internat. Verein. Limnol.,* 26: (in stampa).

Zweifel U.I. & A. Hagström. 1995. Total counts of marine bacteria include a large fraction of non-nucleoid-containing bacteria (ghosts). *Appl. Environ. Microbiol.,* 61:2180-2185.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.LO.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 123-132, luglio 2000

INTERAZIONI PROTOZOI - PICOCIANOBATTERI: MISURE DI GRAZING NEL LAGO MAGGIORE

Cristiana CALLIERI[1], Satu HEINIMAA[2], Silvia PASSONI[1]

[1] C.N.R. - Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza, Italia
[2] Dipartimento di Biologia, Università di Oulu, Finlandia

ABSTRACT

Interactions protozoa - picocyanobacteria: grazing measurements in Lake Maggiore

Ciliates and heterotrophic nanoflagellates (HNF) ingest picocyanobacteria and can obtain sufficient energy to survive with such a diet. In Lake Maggiore the increase in the number and production of natural assemblages of *Synechococcus* sp. stimulate studies on the possibility of a control of such populations by protozoa grazing. We therefore planned a series of experiments to quantify the carbon flux from picocyanobacteria to protozoa in the microbial loop. Rates of picoplanktonic cells removal by grazers have been measured by using fluorescent cells labelled with 5-(4,6-dichlorotriazin-2-yl) aminofluorescein (DTAF). Fluorescent labelled cyanobacteria (FLC) were prepared using a phycoerythrin-rich *Synechococcus* sp. strain from a culture isolated from Lake Maggiore. Hourly ingestion rate of FLC by HNF and ciliates was determined from the slope of the regression between average number of FLC per protozoa and lime. In 1996, during the stratification period, we assisted to a succession from a ciliate community composed mainly by oligotrichs to one with scuticociliates. The HNF passed from a prevalent size of 2-5 um to an increase in the number of size classes, with the appearance of picoflagellates and of >10 µm cells. Ciliates ingested a maximum of 64 cells cil^{-1} h^{-1}, whereas HNF less than 2 cells HNF^{-1} h^{-1}. Nevertheless if we calculate the community ingestion rate per day, HNF can be responsible for 50% of the picocyanobacteria mortality and the ciliates only for 5%. The carbon flux from picocyanobacteria to protozoa ranged from 0.33 to 1.23 µg C l^{-1} h^{-1} of which 85-90% due to HNF. Daily from 8 to 29 µg C 1^{-1} pass through microbial-loop to reach higher level of the food web. This may indicate that after the oligotrophication process microbial food web may be a relevant path for carbon flux in Lake Maggiore.

RIASSUNTO

I ciliati ed i nanoflagellati eterotrofi (HNF) consumano i picocianobatteri e ne possono ricavare l'energia sufficiente per soddisfare le loro esigenze nutrizionali. La predazione dei protozoi controlla strategicamente, in alcuni periodi dell'anno, le

variazioni dei popolamenti naturali di *Synechococcus,* principale costituente del picoplancton autotrofo. Nel Lago Maggiore, un grande lago subalpino attualmente in condizioni di oligotrofia, si è assistito ad un aumento del numero e della produzione dei picocianobatteri in questi ultimi anni. Ciò ha stimolato studi per quantificare un possibile controllo della popolazione da parte dei protozoi. Perciò si sono programmati degli esperimenti per misurare il grazing dei ciliati e dei nanoflagellati eterotrofi (HNF) sui picocianobatteri. Le misure di grazing sono state effettuate utilizzando picocianobatteri marcati (FLC) con un colorante fluorescente (DTAF: 5-(4,6- diclorotriazina -2-yl) aminofluoresceina, Sherr & Sherr, 1993), in esperimenti a breve termine (15-20 minuti).

Nel 1996, durante il periodo di stratificazione del lago si è passati da una comunità di ciliati composta prevalentemente da oligotrichi ad una con scuticociliati dominanti. Lo spettro delle classi dimensionali degli HNF si è ampliato e accanto alla classe di 2-5 µm, più frequente in primavera, sono comparsi picoflagellati e cellule >10 µm. Durante questa successione i ciliati hanno aumentato gradualmente il loro tasso di ingestione mentre i flagellati l'hanno diminuito. I ciliati hanno ingerito per individuo un massimo di 64 cell cil^{-1} h^{-1}, mentre gli HNF meno di 2 celi HNF^{-1} h^{-1}. Tuttavia, calcolando l'ingestione della comunità, gli HNF sono responsabili del 50% della mortalità dei picocianobatteri mentre i ciliati soltanto del 5%. Il flusso di carbonio dai picocianobatteri ai protozoi è variato da 0.33 a 1.23 µg C l^{-1} h^{-1} dei quali l' 85-90% è dovuto agli HNF. Giornalmente da 8 a 29 µg C 1^{-1} passano attraverso il "microbial-loop" per raggiungere livelli più alti nella catena trofica. Questo potrebbe indicare che dopo il processo di oligotrofizzazione la catena microbica può costituire una via importante per il flusso di carbonio nel Lago Maggiore.

1. INTRODUZIONE

I protozoi nella zona pelagica dei laghi sono rappresentati dai nanoflagellati (2 -20 µm) e dai ciliati (15 - 200 µm) (Fenchel, 1987). Tra i flagellati picoplanctivori ci sono gli eterotrofi obbligati ed i mixotrofi (Sanders & Porter, 1988). Tutti questi organismi consumano i picocianobatteri (APP: picoplancton autotrofo, 0,2-2 µm) e ne possono ricavare il carbonio sufficiente per soddisfare le loro esigenze nutrizionali (Weisse *et al.,* 1990; Christoffersen, 1994; Simek *et al.,* 1995). La predazione dei protozoi controlla strategicamente, in alcuni periodi dell'anno, le variazioni dei popolamenti naturali di *Synechococcus* e *Cyanobium,* che costituiscono i generi più tipici dei picocianobatteri acquatici (Stockner, 1991; Komàrek, 1996). In precedenti studi è stata già messa in evidenza la relazione inversa tra la distribuzione verticale dei nanoflagellati eterotrofi, dei ciliati e quella dei picocianobatteri, indice di una possibile pressione di grazing dei protozoi sul picoplancton (Passoni *et al,* 1997). Per quantizzare il flusso di carbonio all'interno delle comunità della catena microbica si sono programmati degli esperimenti di misura diretta del grazing dei protozoi a carico dei picocianobatteri in un grande lago subalpino oligotrofo, il Lago Maggiore. Gli esperimenti sono stati effettuati durante il periodo di stratificazione delle acque e di successione da una comunità di ciliati composta prevalentemente da oligotrichi ad una con scuticociliati. L'attività di

grazing dei protozoi sui picocianobatteri è stata misurata utilizzando incubazioni a breve termine e cellule marcate con una sostanza fluorescente (Sherr *et al,* 1987).

2. MATERIALI E METODI

I campioni sono stati raccolti nel 1996, in una stazione del Lago Maggiore situata nel Bacino Borromeo, vicino a Pallanza, ad una profondità raggiunta dal 10% della radiazione presente in superficie, dove generalmente si ha un massimo di picocianobatteri. I campioni per gli esperimenti di grazing sono stati immediatamente filtrati attraverso una rete con maglie da 126 µm per eliminare lo zooplancton.

Le misure di grazing sono state effettuate utilizzando picocianobatteri marcati (FLC: fluorescently labelled cyanobacteria) con un colorante fluorescente (DTAF, 5-(4,6-diclorotriazina-2-yl) aminofluoresceina, Sherr & Sherr, 1993) in esperimenti a breve termine (15-20 minuti). Le cellule marcate erano aggiunte al campione naturale in una percentuale non inferiore al 7% e non superiore al 20%. Le FLC utilizzate erano dei cocchi con un volume cellulare medio di 0.40 μm^3 $cell^{-1}$. Gli esperimenti sono stati effettuati in condizioni controllate di temperatura e di luce in modo da ricreare l'ambiente naturale.

Per le misure di grazing si sono preparate due beute, ciascuna con 1 litro di campione, una per i ciliati ed una per i flagellati (HNF). Si prelevavano poi dei subcampioni al tempo zero (t_0) e, dopo l'aggiunta delle FLC, in tempi successivi: per i ciliati dopo 3, 6, 10 minuti e per i HNF dopo 6, 10, 20, 30 e 40 minuti. Tutti questi campioni venivano immediatamente fissati con Lugol e formalina tamponata (1% conc. finale). Venivano pure aggiunte alcune gocce di tiosolfato di sodio al 45% per eliminare il colore del Lugol (Sherr & Sherr 1993). Si è utilizzato un microscopio ad epifluorescenza (Axioplan, Zeiss, con filtri UV e blu; ingrandimento 1250x) per contare le FLC all'interno dei vacuoli di almeno 100 HNF e da 40 a 300 ciliati.

Il tasso di ingestione delle FLC da parte dei ciliati e HNF era determinato seguendo il protocollo indicato in Simek *et al.* (1995), calcolando la pendenza della regressione lineare tra il numero medio di FLC per protozoo e il tempo. Il tasso d'ingestione di picocianobatteri era stimato dalla percentuale di tracciante aggiunto e dall'abbondanza di picoplancton *in situ.* 11 tasso di clearance era ottenuto dividendo il tasso d'ingestione per la concentrazione di FLC. Il tasso di ingestione della comunità era calcolato moltiplicando il tasso di ingestione individuale per il numero di HNF o ciliati.

I picocianobatteri erano contati con un microscopio ad epifluorescenza (Axioplan, Zeiss), come descritto in Callieri & Pinolini (1995). Le FLC apparivano verdi se osservate in luce blu. Gli HNF erano colorati con DAPI e filtrati su membrane Nuclepore da 1 µm scure. I ciliati erano contati in camere di sedimentazione da 10 o 25 ml con un microscopio Axiovert 10 (Zeiss). Dalle stime di biovolume degli organismi, effettuate con il sistema di analisi d'immagine Optimas, si passava al contenuto in carbonio utilizzando opportuni fattori di conversione: 220 fgC μm^{-3} per HNF (Borsheim & Bratbak, 1987), 140 fgC μm^{-3} per i ciliati (Putì & Stoecker, 1989) e 300 fgC μm^{-3} per le APP(Moia, 1996).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Durante il periodo di stratificazione delle acque del Lago Maggiore i popolamenti dei ciliati e quelli dei nanoflagellati eterotrofi (HNF) hanno subito delle modificazioni sia di numero che di composizione specifica (ciliati) o di spettro dimensionale (HNF). Nella figura 1 (pannello superiore) sono mostrate le variazioni del numero di ciliati, distinti qui per generi. Da aprile a settembre 1996 si assiste essenzialmente ad un incremento del numero totale di individui (da circa 5000 a 14000 ind l^{-1}) ed anche ad un cambiamento nella composizione delle specie presenti: mentre in primavera dominano gli oligotrichi, in autunno prevalgono gli scuticociliati.

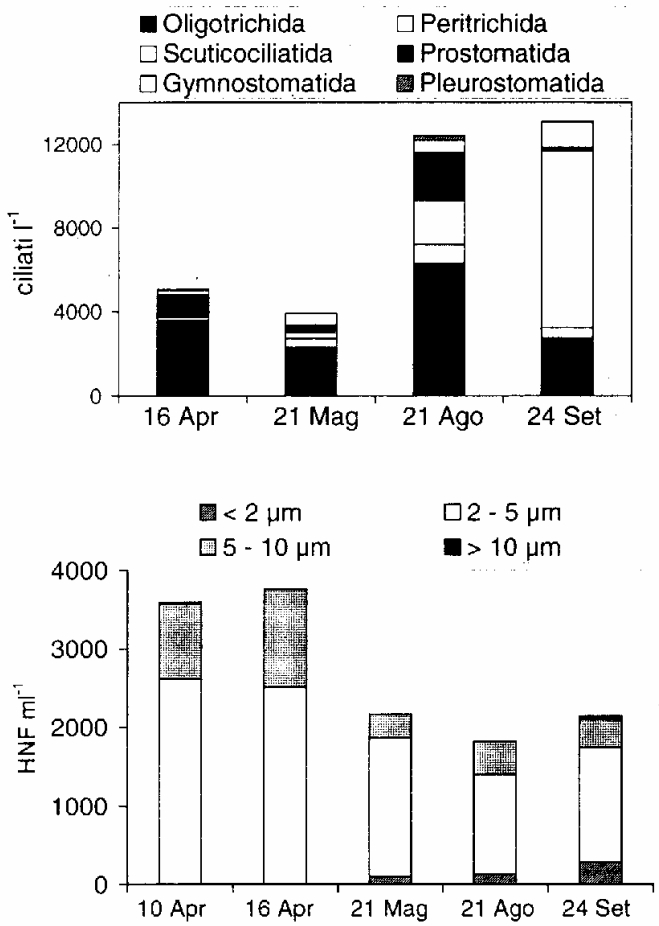


Fig. 1 - Variazioni del numero di ciliati (sopra) e di HNF (sotto) presenti nel Lago Maggiore (1996) alla stessa profondità dove venivano effettuati gli esperimenti di .grazing.

Fig. 1 - Pattern of ciliate (upper panel) and NHF number (lower panel) in Lake Maggiore (1996) at the depth where grazing experiments were performed.

Nella tabella 1 è anche mostrato l'elenco dei generi e delle specie trovate nel Lago Maggiore durante il periodo di studio. Ad alcuni generi appartengono noti consumatori di picocianobatteri: in particolare tra i peritrichi si distingue *Vorticella* e tra gli oligotrichi *Halteria* e *Strobilidium* (Simek *et al.,* 1995; Macek *et al,* 1996). Gli scuticociliati sembrano essere, per la maggior parte, batteriofagi ma in questo studio le specie trovate nel Lago Maggiore non disdegnavano di nutrirsi anche di picocianobatteri. Sempre nella figura 1 (pannello inferiore) sono mostrate le variazioni del numero degli HNF, distinti per dimensioni. Da aprile a settembre il numero totale di HNF diminuisce, al contrario dei ciliati, e passa da circa 3500 a 2000 ind ml^{-1}. Si osserva un cambiamento nella struttura dimensionale della comunità: in autunno aumentano percentualmente sia le cellule < 2 uni che quelle > 10 µm. Il mese nel quale i protozoi nel Lago Maggiore sembrano avere una maggiore diversificazione, sia come presenza di specie che come dimensioni, è settembre. Questo fatto potrebbe essere legato alla massiccia presenza, in settembre, di picocianobatteri sia in forma singola che in aggregati o piccole colonie (Passoni *et al.,* in stampa). La presenza di prede di diverse dimensioni potrebbe stimolare la crescita di più specie di protozoi consumatori con taglie diversificate.

Tab. 1 - Principali taxa del popolamento di ciliati presenti nel Lago Maggiore (1996).
Tab. I - Main citiate taxa found in Lake Maggiore (1996).

Oligotrichida	**Scuticociliatida**	**Prostomatida**
Malteria sp.	*Cinetochilum margaritaceum*	*Urotricha agilis*
Strobilidium humìle	*Ctedoctema* sp.	*Urotricha furcata*
Srobilidium caudatum	*Cycìidium* sp.	*Balanion* sp.
Strombidium sp.	*Hystiobalantium* sp.	*Hoìophrya* sp.
Tìntinnìdìum sp.		
Peritrichida	**Pleurostomatida**	**Gynmostomatida**
Vorticella sp.	*Litonotus* spp.	*Askenasia* spp.
Epistylis sp.		*Lacrymaria* spp.
		Mesodinium pulex

L'uso di cellule marcate e la successiva ispezione dei vacuoli dei protozoi permette di ottenere le stime di ingestione separate per ciliati e HNF. Nella figura 2 abbiamo riportato il numero di cellule marcate (FLC) ingerite dai ciliati e HNF ai diversi tempi degli esperimenti. La pendenza della retta di regressione del numero di FLC ingerite sul tempo da una stima del tasso di grazing per individuo (Straškrabovà *et al,* 1999). I tempi scelti si sono rivelati appropriati per ottenere una stima del tasso di ingestione delle cellule marcate da parte dei protozoi e quindi ci consentono di confrontare i tassi di grazing delle due comunità. La prima osservazione è che i ciliati ingeriscono più cellule e più rapidamente dei flagellati, in tutti gli esperimenti. Nella tabella 2 sono mostrati i tassi di ingestione delle cellule totali, ossia picocianobatteri e cellule marcate; .Questo tasso può essere considerato come la stima del grazing dei ciliati e flagellati sui popolamenti naturali di picocianobatteri. I ciliati ingeriscono un massimo di 64 cellule cil^{-1} h^{-1} mentre gli HNF meno di 2 cellule HNF^{-1} h^{-1}. Il valore medio dei ciliati è simile a quello riportato da Šimek *et al* (1996) per una singola specie di un oligotrico: *Strobilidium hexachinetum* che ingerisce 76 cellule per ora. I ciliati hanno un

tasso di clearance massimo di 2 µl per individuo per ora mentre gli HNF di 25 nl per individuo per ora. Altri Autori (Simek *et al.,* 1996) riportano valori massimi di clearance più elevati ma in presenza di specie notoriamente più voraci come *Vorticella aquadulcis* e *Malteria grandinella* (circa 3 µl $cell^{-1}$ h^{-1})

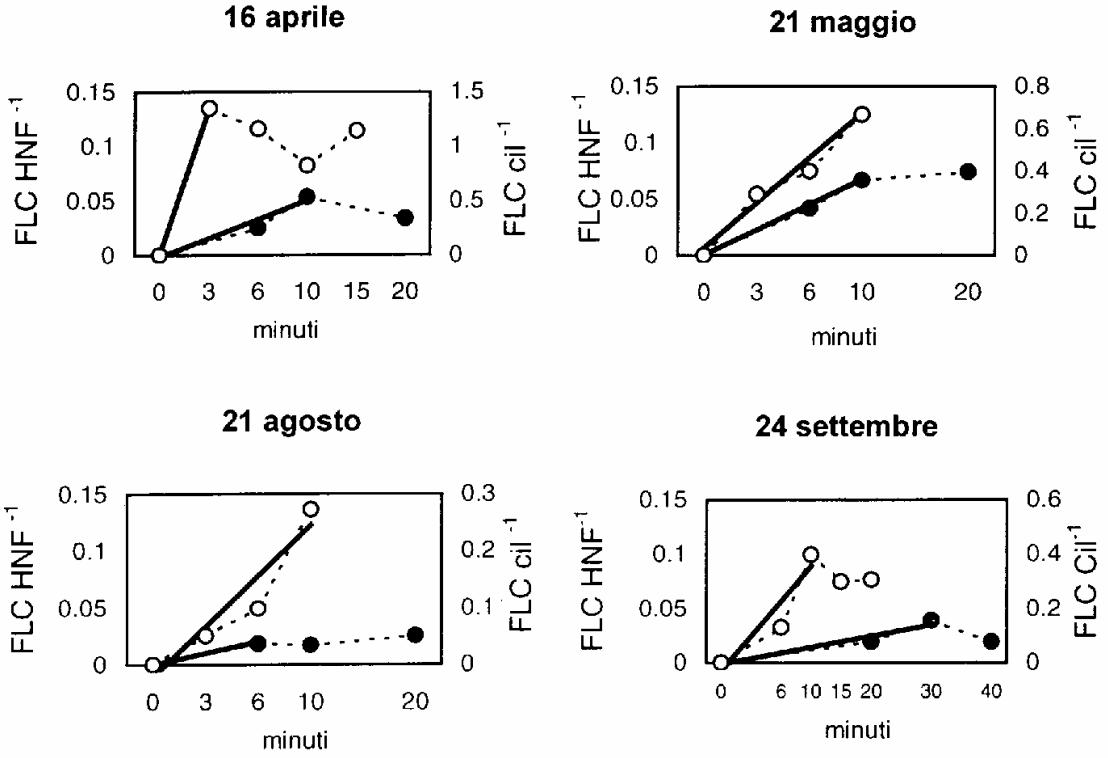


Fig. 2 - Numero di cellule marcate ingerite per individuo (FLC HNF^{-1}: cerchio pieno; FLC cil^{-1}: cerchio vuoto) ai diversi tempi. Dalla pendenza della linea spessa è ottenuto il tasso di grazing.

Fig. 2 - Fluorescently labelled cells (FLC) ingested per individual (FLC HNF^{-1}: full circles: FLC cil^{-1}: empty circles). Grazing rate is obtained from the slope of the thick line.

Tab. 2 - Tasso di ingestione, di clearance e di ingestione della comunità di ciliati e flagellati a carico dei picocianobatteri.

Tab. 2 - Ingestion. clearance and community ingestion rate of picocycinobacteria by IINF and ciliates.

	Tasso di ingestione pico & FLC $cell^{-1}$ h^{-1}		Tasso di clearence nl $cell^{-1}$ h^{-1}		Tasso di ing. della comunità pico ml^{-1} h^{-1}	
date	ciliati	HNF	ciliati	HNF	ciliati	HNF
10/4/96		0.78		19		2809
16/4/96	64	0.78	2050	25	324	2338
21/5/96	58	1.63	241	7	228	4340
21/8/96	24	1.08	187	8	297	1986
24/9/96	23	0.76	83	2.5	322	2034

Nei ciliati sia il tasso di ingestione che quello di clearance diminuiscono dalla primavera all'autunno dimostrando quindi come le specie presenti in primavera (prevalenza di oligotrichi) siano nettamente più picoplanctivore di quelle trovate in autunno (prevalenza di scuticociliati). Per gli HNF il clearance più elevato è in aprile per la presenza di un picco di cellule nell'intervallo dimensionale 5-10 µm; mentre il tasso di ingestione massimo è raggiunto in maggio in corrispondenza di un cambiamento nella struttura del popolamento.

Anche se singolarmente i ciliati ingeriscono più picocianobatteri rispetto ai flagellati, tuttavia l'impatto dell'intera comunità dei ciliati sui popolamenti picoplanctonici risulta inferiore a quello dei flagellati. Nel Lago Maggiore, in definitiva, i ciliati sono troppo pochi e perciò in un giorno possono consumare in media il 5% del numero totale di picocianobatteri. Gli HNF invece arrivano ad ingerire, come comunità, il 50% del totale di picocianobatteri per giorno.

Se si esprimono come carbonio i tassi di ingestione della comunità e la biomassa stanziale delle prede e dei predatori (Fig. 3), si possono instaurare confronti più realistici tra le attività dei vari organismi coinvolti. Il flusso di carbonio dai picocianobatteri ai protozoi è variato da 0.33 a 1.23 µg C l^{-1} h^{-1} con una percentuale di ingestione del pico dovuta per 85-90% ai nanoflagellati eterotrofi. Giornalmente da 8 a 29 µg C l^{-1} prendono la via del microbial-loop per essere trasferiti agli anelli più alti della catena trofica. Ciò indica che la catena microbica nel Lago Maggiore potrebbe essere divenuta, dopo il processo di oligotrofizzazione, un percorso alternativo alla classica catena del pascolo e più importante di questa per le comunità microbiche. Questa ipotesi è stata già formulata da diversi Autori (Bertoni *et al.,* 1998; Ruggiu *et al.,* 1998) anche se non sulla base di misure dirette di grazing ma piuttosto sui cambiamenti delle comunità fitoplanctoniche.

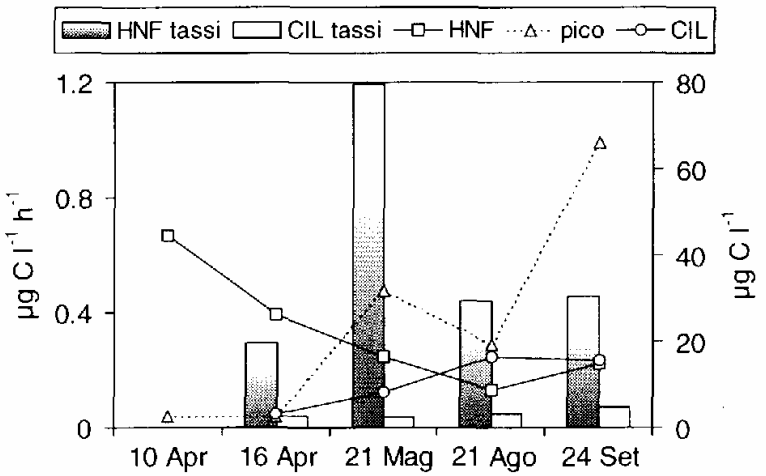


Fig. 3 - Tassi di ingestione dei ciliati e HNF a carico dei picocianobatteri (µg C l^{-1} h^{-1}); biomasse stanziali di ciliati (CIL), di nanoflagellati eterotrofi (HNF) e di picocianobatteri (pico) (µg C l^{-1}).

Fig. 3 - Picocyanobacteria uptake rate by ciliates and HNF (µg C l^{-1} h^{-1}): ciliate (CIL). heterotrophic nanoflagellates (HNF) and picocyanobacteria (pico) standing crops (µg C l^{-1}).

E' interessante notare che la tendenza verso la diminuzione della biomassa totale degli HNF col procedere della stagione è accoppiata ad una tendenza all'aumento della biomassa dei ciliati. Questo potrebbe indicare una competizione per una stessa sorgente di cibo (il picoplancton più in generale) ed in alcuni casi, come in agosto, anche una possibile predazione dei ciliati su gli HNF.

Nel Lago di Costanza, con una nuova tecnica di marcatura si è stimato che la predazione da parte di piccoli oligotrichi su nanoflagellati del genere *Spuntella* variava dai 3 ai 39 HNF cil^{-1} h^{-1} (Cleven, 1996). Anche nel Lago Maggiore, per certi versi simile al Lago di Costanza, le interazioni tra i microrganismi del microbial-loop potrebbero spiegare la coincidenza di massimi di ciliati con minimi di HNF. Questa via alternativa di trasferimento verrà approfondita con opportune ricerche, in futuro.

I picocianobatteri non sembrano essere strettamente controllati dal grazing dei protozoi. Non esiste, in altre parole, una relazione chiara tra tasso di grazing e biomassa totale dei picocianobatteri. In maggio, ad esempio, quando il grazing è massimo i picocianobatteri sono 226000 cell ml^{-1} (corrispondenti a 32 µg C 1^{-1}) e quindi la mortalità per grazing è comunque bilanciata da una crescita elevata. In settembre, poi, la presenza di aggregati e piccole colonie di picocianobatteri (Passoni e Callieri, in stampa) spiega l'elevata biomassa pur in presenza di un tasso di grazing non trascurabile.

4. CONCLUSIONI

Il picoplancton autotrofo ha subito nel Lago Maggiore una evoluzione negli anni dal 1992 al 1998 e ha mostrato un aumento sia della produzione che della biomassa (Callieri & Stockner, submitted; Callieri & Piscia, in prep.). Questo andamento è sicuramente legato al processo di oligotrofizzazione che ha interessato questo grande lago subalpino. E' noto, infatti, che i picocianobatteri possono assumere un ruolo significativo come produttori primari in condizioni di fosforo limitante (Stockner, 1991) perché sono competitivi rispetto ad alghe più grandi (Chisholm, 1992). La distribuzione stagionale dei picocianobatteri dipende dalla temperatura e dalla luce (Passoni *et al.,* 1997) ma sembra essere anche legata alla competizione con le forme filamentose di cianobatteri (Callieri & Stockner, submitted) e alla predazione da parte dei protozoi. In questo lavoro abbiamo quantizzato il flusso di carbonio dai picocianobatteri ai protozoi, separando i tassi di ingestione dei ciliati da quelli degli HNF. I nanoflagellati sono responsabili del 80-90% del grazing totale dei protozoi, anche se il tasso di clearance dei ciliati è più elevato. Anche se a tutt'oggi non esistono, per il Lago Maggiore, misure di grazing effettuate con una frequenza tale da ottenere una stima su base annua, tuttavia dai dati presentati in questo lavoro e dalle distribuzioni verticali delle prede e dei predatori (Passoni *et al.,* 1997) si può affermare che una quantità non trascurabile di carbonio potrebbe passare dal picoplancton autotrofo allo zooplancton e ai pesci attraverso la via del microbial-loop che, quindi, costitutisce una importante via di trasferimento. Considerando inoltre l'importanza che stanno assumendo i picocianobatteri nella comunità fitoplanctonica del Lago Maggiore, gli studi sui processi che potrebbero causarne la mortalità dovrebbero essere incrementati e messi in relazione alla loro crescita e produzione.

BIBLIOGRAFIA

Bertoni R., Callieri C., Morabito G., Pinolini M.L. & Pugnetti A. 1998. Quali-quantitative changes in organic carbon production during the oligotrophication of Lake Maggiore, Italy. *Verh. Internal. Verein. Limnol.,* 26: 300-304.

Borsheim K.Y. & Bratbak G. 1987. Cell volume to carbon conversion factors for a bacterivorous *Monas* sp. enriched from seawater. *Mar. Ecol. Prog.-Ser.,* 36: 171-175.

Callieri C. & Pinolini M.L. 1995. Picoplankton in Lake Maggiore, Italy. *Int. Revue. ges. Hydrobiol.* 80: 491-501.

Callieri C. & Piscia R. In preparazione. Photosynthetic efficiency and dynamics of autotrophic picoplankton after Lake Maggiore recovery.

Callieri C. & Stockner J. Submitted. Picocyanobacteria Success in Oligotrophic Lakes: Fact or Fiction? *Aquat. Microb. Ecol.*

Chisholm S.W. 1992. Phyloplankton size. In: Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. (Falkowski P.G. & Woodhead A.D. eds.): 213-237.

Christoffersen K. 1994. Variation of feeding activities of heterotrophic nanoflagellates on picoplankton. In: Protozooplankton ecology methods and seasonal successions (Arndt H. ed.). Vol.8 (1-2): 111-123.

Cleven E.J. 1996. Indirectly fluorescently labelled flagellates (IFLF). a tool to estimate the predation on free-living heterotrophic flagellates. *J. Plankton Rea.* 18: 429-442.

Fenchel T. 1987. The ecology of protozoa. Springer: 57-97.

Komárek J. 1996. Towards a combined approach for the taxonomic and species delimitation of picoplanktic cyanoprokaryotes. *‚Algol. Studies,* 83: 377-401.

Macek M., Simek K., Pernthaler J., Vyhnalek V. & Psenner R. 1996. Growth rates of dominant planktonic ciliates in two freshwater bodies of different trophic degree. *J. Plankton Res.*, 18: 463-481.

Moia L. 1996. Contenuto in carbonio organico del picoplancton: variabilità in funzione delle condizioni colturali. Tesi di laurea, Università di Milano, 98 pp. Passoni S. Callieri C. In stampa. Picocyanobacteria single forms, aggregates and microcolonies: survival strategy or species succession? *Verh. Internal. Verein. Limnol.,* 27.

Passoni S., Callieri C. & Heinimaa S. 1997. Dinamiche di distribuzione del picoplancton autotrofo nel Lago Maggiore. Atti del 12° Congresso AIOL. Vol 1 (PiccazzoM. ed.): 109-118.

Putì M. & Stoecker O.K. 1989. An experimentally determined carbon: volume ratio for marine oligotrichous ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.,*34*:* 1097-1103.

Ruggiu D., Morabito G., Panzani P. & Pugnetti A. 1998. Trends and relations among basic phytoplankton characteristics in the course of the long-term oligotrophication of Lago Maggiore. *Hydrobiologia* 369/370: 243-257.

Sanders R.W. & Porter K.G. 1988. Phagotrophic phytoflagellates. In: Advances in microbial ecology vol. 10 (Marshall J. ed.). Plenum Press, New York: 167-192.

Sherr B.F., Sherr E.B. & Fallon R.D. 1987. Use of monodispersed, fluorescently labeled bacteria to estimate in situ protozoan bacterivory. *Appl. Environ. Microbiol.,* 53: 958-965.

Sherr E.B. & Sherr B.F. 1993. Protistan grazing rates via uptake of fluorescently labeled prey. In: Handbook of methods in aquatic microbial ecology. (Kemp P., Sherr B., Sherr E. & Cole J. eds.). Lewis Pub Boca Raton, FL: 695-701.

Šimek K., Bobkova J., Macek M., Nedoma J. & Psenner R. 1995. Ciliate grazing on picoplankton in a eutrophic reservoir during the summer phytoplankton maximum: a study at the species and community level. *Limnol. Oceanogr.,* 40(6): 1077-1090.

Šimek K, Macek M., Pernthaler J., Straskrabova V. & Psenner R. 1996. Can freshwater planktonic ciliates survive on a diet of picoplankton? *J. Plankton Res.,* 18 (4): 597-613.

Stockner J.G. 1991. Autotrophic picoplankton in freshwater ecosystems: the view from the summit. *Int. Revue. ges. Hydrobiol.,* 76 (4): 483-492.

Straškrabovà V., Callieri C., Carrillo P., Cruz-Pizarro L., Fon J., Hartman P., Macek - M., Medina-Sànchez J.M., Nedoma J. & Šimek K. 1999. Investigations on pelagic food webs in mountain lakes - aims and methods. *J. Limnol.,* 58 (2): 77-87.

Weisse T., Muller H., Pinto-Coelho R.M., Schweizer A., Springman D. & Baldringer G. 1990. Response of the microbial loop to the phytoplankton spring bloom in a large prealpine lake. *Limnol. Oceanogr.,* 35: 781-794.

Lavoro presentato al XIII Congresso A. i. O. L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 133-144, luglio 2000

PRIME STIME SULL'EFFICIENZA DELLA PREDAZIONE DEL MICROZOOPLANCTON NEL TIRRENO MERIDIONALE (ISOLE EOLIE)

Serena FONDA UMANI, Veronica ZANON

Laboratorio di Biologia Marina, - 34010 Santa Croce - Trieste

ABSTRACT

In the frame of EOCUMM 1995 project in July 1995 off the Eolian islands two dilution experiments based on Landry & Hasset (1982) protocol for assessing the grazing impact of microzooplankton on natural assemblage were performed. Phyto- and microzooplankton were identified and counted al an inverted microscopy following the Utermhöl method (1958). This allowed us to control that microzooplankton abundance does not vary over the experiment time (24 h) and to identify the food items choosen by microconsumers. From biovolume measurements of at least 100 cells, total carbon content was obtained by using an appropriate conversion factor (Edler, 1979). In both the experiments natural phytoplankton and microzooplankton, collected at the subsurface, were very scarce. Phytoplankton was manly constituted by small flagellates, mostly dinoflagellates and prymnesiophyceae. In the first experiment naked ciliates and heterotrophic dinoflagellates constituted the microzooplankton community. In the second one heterodinoflagellates were scarce too. Grazing rates varied from 0.323 to 1.77 $\mu gCl^{-1}d^{-1}$ In both the experiments the microzooplankton consumers operated a clear selection for the smallest size classes (5 - 20 µm) of phytoplankton. Daily grazing rate ($0.31\ d^{-1} \geq g \leq 1.85\ d^{-1}$) was always higher than phytoplankton growth rate ($0.14\ d^{-1} \geq k \leq 1.48\ d^{-1}$), which can be recognized as a sign of a strong top down control.

RIASSUNTO

Nell'ambito del progetto EOCUMM 1995 sono stati effettuati due esperimenti per valutare il lasso di predazione del microzooplancton sulle componenti microfito-planctoniche (20 – 100 µm) e sulla frazione dimensionalmente maggiore di quelle nanoplanctoniche (5-20 µm) con il sistema delle diluizioni (Landry & Hasset, 1982). Fitoplancton e microzooplancton sono stati osservati e conteggiati al microscopio rovesciato secondo il metodo di Utermhöl (1958). Questo ci ha permesso di verificare da un lato che il popolamento microzooplanctonico rimane costante nell'arco delle 24h di incubazione, dall'altro di identificare le preferenze alimentari dei predatori. I valori di abbondanze fitoplanctoniche sono stati tradotti in contenuti di carbonio utilizzando le formule di conversione del biovolume misurato proposte da Edler (1979). Abbiamo

così calcolato il tasso giornaliero di predazione sul fitoplancton totale che varia da 0.323 a 1.77 μgCl^{-1} g^{-1} In entrambi i casi l'impatto di predazione del microzooplancton è maggiore sulle frazioni dimensionali comprese tra 5 e 20 µm, costituite essenzialmente da primnesioficee e da piccole dinoficee. Il tasso di predazione varia da 0.31 a 1.85 g^{-1} ed è sempre superiore al tasso di crescita fitoplanctonica che varia da 0.14 a 1.48 g^{-1}, il che indica un forte controllo da parte del microzooplancton sulle biomasse dei produttori primari. Ciò può essere imputabile sia alla marcata oligotrofìa dell'area sia alla mancanza della pressione di grazing da parte dei predatori di ordine superiore (copepodi) sul microzooplancton, che invece viene esercitata in natura.

1. INTRODUZIONE

Il microzooplancton è costituito da tutti gli organismi eterotrofi (protozoi e prime fasi larvali di metazoi) di dimensioni comprese tra 20 e 200 µm. Da un punto di vista trofico esso costituisce un anello fondamentale delle rete trofica del pascolo, in quanto è in grado di predare microfitoplancton di piccole dimensioni (Verity, 1986; Pierce & Turner, 1992). Negli ultimi anni si è maggiormente evidenziato il suo ruolo chiave nell'ambito del circuito microbico in quanto la sua predazione è particolarmente efficace sulla frazione nanoplanctonica (dimensioni comprese tra 2 e 20 µm) sia autotrofa che eterotrofa e, in misura minore, sulla frazione picoplanctonica (microrganismi autotrofi ed eterotrofi di dimensioni <2 µm) (Gast, 1985; Jonsson, 1986; Sherr *et al.,* 1986; Albright *et al,* 1987; Fenchel, 1987; Sherr & Sherr, 1987; Rassoulzadegan *et al.,* 1988; Bernard & Rassoulzadegan, 1990; Gonzales *et al.,* 1990; Verity *et al.,* 1993, Simek *et al.,* 1995). Come è noto, il nanoplancton eterotrofo è il pricipale predatore della frazione batterica (Haas & Webb, 1979; Fenchel, 1982; Davis & Sieburth, 1984; Fuhrman & McManus, 1984; Sherr *et al.,* 1990), che a sua volte utilizza il materiale organico trasformandolo in biomassa (Azam *et al.,* 1983). Pertanto il microzooplancton costituisce il principale veicolo per il trasferimento energetico dalla catena microbica a quella del pascolo, in quanto a sua volta viene attivamente predato dal mesozooplancton (copepodi e larve di pesci) (Sherr *et al.,* 1986: Stoecker & Capuzzo, 1990; Gifford & Dag, 1990: Turner & Graneli, 1991). Per quanto alcune notizie sull'abbondanza e la distribuzione del microzooplancton nell'area oggetto del nostro studio (Fonda Umani *et al.,* 1995) e in aree limitrofe (Fonda Umani & Monti, 1993: Sparla & Guglielmo, 1994) fossero disponibili, non esistevano ricerche precedenti relative all'impatto della predazione di tale frazione sulle componenti autotrofe ed eterotrofe di taglia minore. Lo scopo della nostra ricerca è stato pertanto quello di stimare l'efficienza della predazione del microzooplancton in un'area fortemente oligotrofica quale il Tirreno meridionale durante una campagna estiva (seconda metà di luglio 1995) condotta al largo delle isole Eolie con la M/N Italica nell'ambito del progetto EOCUMM 1995. Abbiamo utilizzato il metodo delle diluizioni proposto da Landry & Hasset (1982), successivamente modificato da Landry *et al.,* (1995) e Gallegos (1989), che a differenze di altri metodi proposti (Heinbokel & Beers, 1979; Capriulo & Carpenter, 1980; Waterhouse & Welschmeyer, 1995) è estremamente semplice e non prevede alcuna manipolazione degli organismi. Mediante il metodo delle diluizioni di Landry & Hasset (1982) si

ottiene sia il tasso specifico di crescita fitoplanctonica, sia quello specifico di predazione del microzooplancton. Con tale tecnica infatti si stima il tasso di predazione, determinando il tasso di crescita fitoplanctonica in una serie di contenitori nei quali l'acqua campionata in una -stazione viene diluita con acqua filtrata raccolta nella medesima stazione. Le successive diluizioni riducono la probabilità di incontro tra preda (fitoplancton) e predatore (microzooplancton). Il tasso specifico di crescita fitoplanctonica si ottiene estrapolando la crescita al 100% di diluizione (cioè il tasso di crescita in mancanza di predatori); il tasso di predazione del microzooplancton corrisponde alla pendenza della retta di regressione tra la crescita del fitoplancton e le frazioni di acqua non filtrata (Gallegos, 1989). Il metodo si basa sul presupposto che il tasso di predazione sia costante, indipendentemente dalla concentrazione del fitoplancton e di conseguenza che il popolamento dei consumatori non vari durante l'incubazione (Evans & Paranjape, 1992). Analogamente, si presuppone che il tasso di crescita del fitoplancton non vari a seguito delle diluizioni e che cioè non sia dipendente dalla densità del popolamento e segua una legge esponenziale ed infine che il tasso di predazione risponda linearmente alle diverse concentrazioni di fitoplancton (Gallegos, 1989). Il metodo originale proponeva l'analisi del dato di clorofilla, mentre noi abbiamo preferito conteggiare il campione per valutare eventuali predazioni selettive e controllare la stabilità del popolamento dei predatori. Landry *et al.* (1995) ritengono infatti che questo sia uno dei punti più delicati del metodo. Nello stesso articolo gli autori osservano come in situazioni dì spinta oligotrofia quali quelle del Pacifico centro equatoriale il metodo delle diluizioni, cosi come l'applicazione della teoria del Modello I di regressione (Sokal & Rohlf, 1981) risultino appropriati. Gli stessi autori osservano anche come nella precitata situazione non si osservino variazioni sensibili nel tasso di mortalità delle prede tra gli esperimenti effettuati con l'aggiunta di nutrienti così come previsto nel protocollo originale (Landry & Hasset, 1982) e quelli nei quali non si era effettuata alcune aggiunta. Abbiamo pertanto preferito non effettuare alcun arricchimento in nutrienti per mantenere le condizioni ambientali il più possibili simili a quelle naturali.

2. MATERIALI E METODI

Gli esperimenti sono stati condotti durante una crociera oceanografica nel Tirreno meridionale, in prossimità delle isole Eolie, durante la seconda metà del luglio 1995. I campioni d'acqua sono stati prelevati a 5 m di profondità alla stazione 2 (LAT. = 38° 22' 70 N. LONG. = 14° 42' 28 E) e alla stazione 6 (LAT. = 38° 41' 50 N, LONG. = 14° 57' 95 E). Per ciascun esperimento sono stati prelevati 32 litri, di questi 12 litri sono stati filtrati mediante pompa peristaltica su membrana idrofila di PFTE Millipore con porosità 0.22 µm, i restanti 20 litri sono stati filtrati su retino con maglia di 200 µm per eliminare tutti gli eventuali predatori di taglia superiore. L'acqua filtrata su 200 µm è stata diluita con quella filtrata su 0.22 µm secondo il seguente schema:
1:0 (100% acqua filtrata su 200 µm), 3:1 (75% acqua filtrata su 200 µm), 1:1 (50% acqua filtrata su 200 µm), 1: 3 (25% acqua filtrata su 200 µm)

Per ciascuna diluizione si sono effettuate 3 repliche da 2 litri che sono state incubate per 24h in una vasca schermata al 25% dell'irradianza, corrispondente all'irra-

dianza disponibile alla profondità di prelievo e mantenuta in acqua corrente sul ponte della nave per garantire la temperatura pari a quella rilevata in situ.

I campioni iniziali per ciascuna diluizione (bianchi) per le analisi del fitoplancton e del microzooplancton sono stati immediatamente fissati con formalina neutralizzata alla concentrazione finale del 2%, cosi come quelli relativi alle incubazioni. L'analisi quali-quantitativa dei popolamenti planctonici è stata effettuata su subcampioni di 100 mi e di 200 ml per il fito- e il microzooplancton rispettivamente, al microscopio rovesciato a contrasto di fase Zeiss IM35 a 320x per il fitoplancton e a 200X per il microzooplancton applicando il metodo di Utermöhl (1958). Per il calcolo del contenuto in carbonio del popolamento fitoplanctonico sono state effettuate le misure lineari su almeno 100 organismi di ciascuna delle specie (o taxa) presenti, quindi si sono calcolati i relativi biovolumi approssimandoli a diverse forme geometriche ed infine si sono applicate le formule di trasformazione proposte da Edler (1979). Il tasso di predazione (g) del microzooplancton è stato calcolato utilizzando l'equazione proposta da Landry e Hasset (1982), modificata da Landry *et al.* (1995):

$$\mathbf{P_t = [P_0\, e^{(k-g)t}]}$$

dove P_0 e la biomassa al tempo 0, P_t è la biomassa al termine del tempo **t** (nel nostro caso 1 giorno), k è il coefficiente istantaneo di accrescimento del popolamento fitoplanctonico, g è il coefficiente istantaneo di mortalità del popolamento fitoplanctonico dovuto alla predazione,

3. RISULTATI

3.1. Popolamenti planctonici

I popolamenti fitoplanctonici sono molto scarsi in entrambi gli esperimenti, e più precisamente raggiungono 2.14 $x10^3$ cell.l^{-1} e 1.36 µgCl^{-1} nel primo esperimento e 2.08 x 10^3 cell.1^{-1} e 0.74 µgCl^{-1} nel secondo; sono costituiti essenzialmente da dinoficee, fra le quali prevalgono le forme di piccole dimensioni, e da primnesioficee. Le diatomee sono particolarmente scarse e il loro contributo in termini di abbondanza numerica e di biomassa è del tutto trascurabile. Il fitoplancton è stato separato in 2 classi dimensionali (la frazione dimensionalmente maggiore del nanoplancton compresa tra 5 e 20 µm e il microfitoplancton >20 µm). Nella tab.l vengono riportati i valori in carbonio delle 2 frazioni considerate, i valori di biomassa più elevati in entrambi gli esperimenti sono associati alla frazione dimensionalmente maggiore.

Anche il popolamento microzooplanctonico è molto scarso, variando da 159 ind. 1^{-1} nel primo esperimento a 54 ind.l^{-1} nel secondo; è costituito essenzialmente da ciliati diversi dai tintinnidi, tra i quali prevale il genere *Strombidium* e da dinoflagellati eterotrofi nel primo esperimento soltanto, mentre micrometazoi (nauplii di copepodi) e tintinnidi *(Eutintinnus* sp., *Craterella* sp.) giocano un ruolo trascurabile, anche se quest'ultimi sono un po' più abbondanti nel secondo esperimento. I conteggi effettuati all'inizio dell'incubazione e alla fine della stessa su tutte e tre le repliche per ciascuna diluizione hanno permesso di verificare come il popolamento non vari durante il corso dell'esperimento e quindi si può assumere che anche la pressione di predazione rimanga costante.

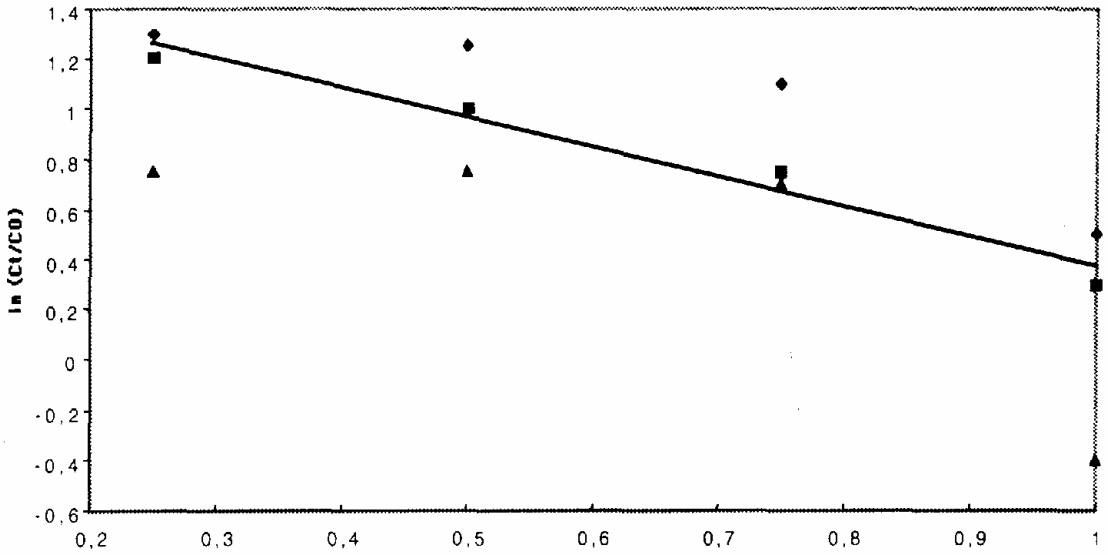


Fig. 1 - Primo esperimento: tasso di predazione di microzooplancton sul microfitoplancton totale. La retta di regressione (y = -1,66x + 1,385), calcolata su 12 punti (3 repliche per 4 diluizioni), ha un $r^2 = 0.71$ ($p< 0.001$). In ordinata le percentuali di diluizione, in ascissa il logaritmo naturale del rapporto tra la concentrazione iniziale (C_t) e quella finale (C_0) delle prede.

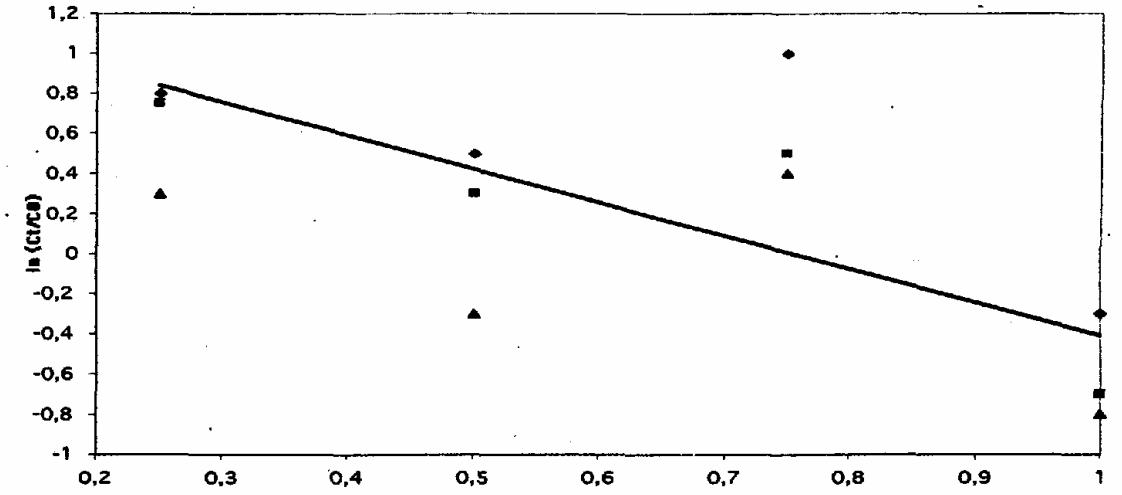


Fig. 2 - Primo esperimento: tasso di predazione di microzooplancton sul nanoplancton (5 - 20 µm). La retta di regressione (y = -l,18x + 1.55), calcolata su 12 punti (3 repliche per 4 diluizioni), ha un $r^2 = 0.96$ ($p<0.001$). In ascissa le percentuali di diluizione, in ordinata il logaritmo naturale del rapporto tra la concenti-azione iniziale (C_t) e quella finale (C_0) delle prede

predazione sullo standing stock iniziale e la rimozione della produzione potenziale, entrambe espresse in termini percentuali (Tab. 1). L'impatto di grazing sullo standing stock iniziale varia da un minimo del 95% sul popolamento totale del primo esperimen-

3.2. Esperimenti di diluizione

Il tasso di crescita istantaneo per il fitoplancton, il tasso di grazing del microzooplancton e i coefficienti di regressione per i due esperimenti sono riportati in tab. 1 e i relativi diagrammi nelle fig. 1, 2, 3, 4 e 5.

Tab. 1 - Valori dello standing stock (in μgCl^{-1}), del coefficiente di crescita apparente giornaliera (k), del coefficiente di predazione giornaliera (g), del coefficiente di correlazione (r^2), della predazione giornaliera sullo standing stock iniziale (P) espressa in termini percentuali, della perdita giornaliera sulla produzione potenziale (PP) espressa in termini percentuali, del tasso di predazione giornaliero (I) espresso come μgCl^{-1} $giorno^{-1}$ per i 2 esperimenti. I valori di r^2 inferiori a 0.51 non sono significativi.

	stand stock iniziale	k	g	r^2	P	PP	I
I Esperimento							
fitoplancton totale	1,36	1,20	1,29	0,77	94	79	1,77
Dinophyceae	1,06	1,23	1,24	0,54	117	94	1,31
Prymnesiophyceae	0,26	1,28	1,85	0,69	703	549	0,49
Bacillariophyceae	0,05	0,81	0,42	0,54	923	1142	0,02
nanofito <20 um	0,27	1,48	1,14	0,96	427	289	0,31
microfito>20 um	1,10	1,06	1,31	0,71	119	112	1,44
II Esperimento							
fitoplancton totale	0,74	0,14	0,43	0,13	58	422	0,32
Dinophyceae	0,51	-0,06	0,45	0,11	87	1410	0,23
Prymnesiophyceae	0,19	0,25	0,58	0,51	302	1218	0,11
Bacillariophyceae	0,04	0,33	0,31	0,06	751	2269	0,01
nanofito <20 um	0,29	0,53	0,98	0,87	333	625	0,29
microfito >20 um	0,45	0,05	0,17	0,04	37	767	0,08

Le rette di regressione sono state calcolate, oltre che per il popolamento fitoplanctonico totale, anche per le frazioni inferiori e superiori ai 20 µm in cui abbiamo diviso il popolamento e per ciascuno dei taxa presenti (diatomee, dinoficee e primnesioficee). Nel primo esperimento il coefficiente di regressione è risultato significativo in tutti i casi, e particolarmente alto per la frazione <20 µm e per le primnesioficee. Nel secondo esperimento sono risultati significativi soltanto questi due coefficienti di correlazione, tutti gli altri coefficienti risultano essere non significativi ($p>0.05$). Pertanto, nel primo esperimento il microzooplancton sembra predare attivamente tutte le frazioni dimensionali del popolamento fitoplanctonico, anche se manifesta una netta preferenza per le frazioni di dimensioni minori, mentre nel secondo esperimento soltanto queste vengono predate. Il valore di g varia, considerando soltanto le correlazioni significative, da un minimo di 0.43 g^{-1} per le diatomee nel primo esperimento ad un massimo di 1.3 g^{-1} sempre nel primo esperimento per la frazione >20 µm. Il tasso istantaneo di crescita fitoplanctonica (k) varia da un minimo di 0.25 g^{-1} per le primnesioficee nel secondo esperimento ad un massimo di 1.48 g^{-1} per la frazione <20 µm nel primo esperimento. In base ai coefficienti g e k e conoscendo il contenuto di carbonio dei popolamenti fitoplanctonici nel bianco iniziale è possibile calcolare la

to ad un massimo di 924% sulle diatomee, sempre nel primo esperimento ed è.in generale molto alto, cosi come è molto alto il tasso di rimozione calcolato sulla produzione potenziale, che varia dal 79% sempre per il popolamento totale del primo esperimento al 1218% per le primnesioficee del secondo esperimento.

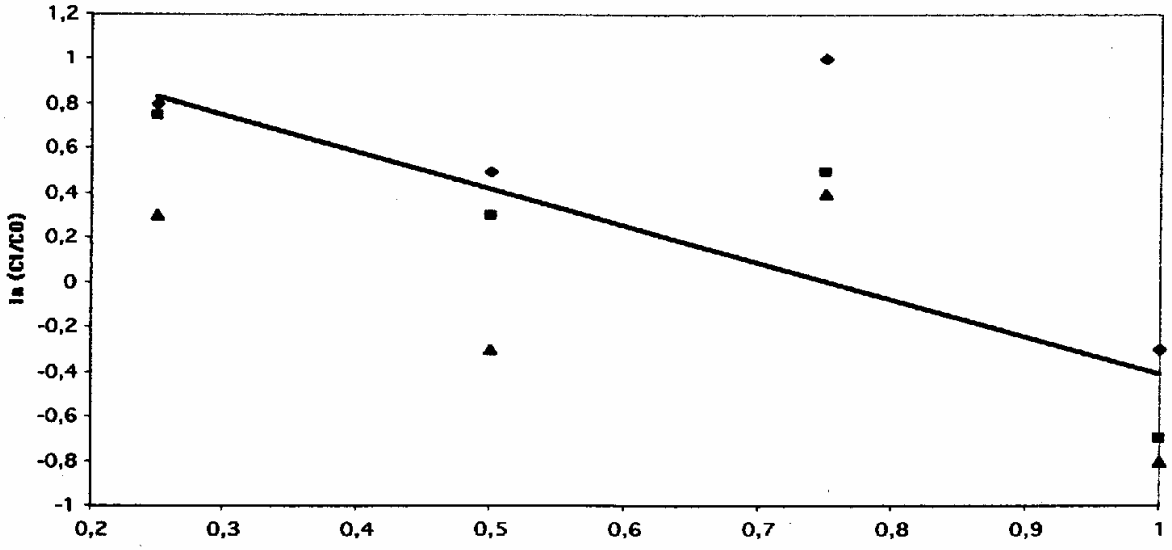


Fig. 3 - Primo esperimento: lasso di predazione di microzooplancton sul microfitoplancton (>20µm). La retta di regressione (y = -l,66x + 1,25), calcolata su 12 punti (3 repliche per 4 diluizioni), ha un $r^2 = 0.71$ ($p<0.01$). In ascissa le percentuali di diluizione, in ordinata il logaritmo naturale del rapporto tra la concentrazione iniziale (C_t) e quella finale (C_0) delle prede

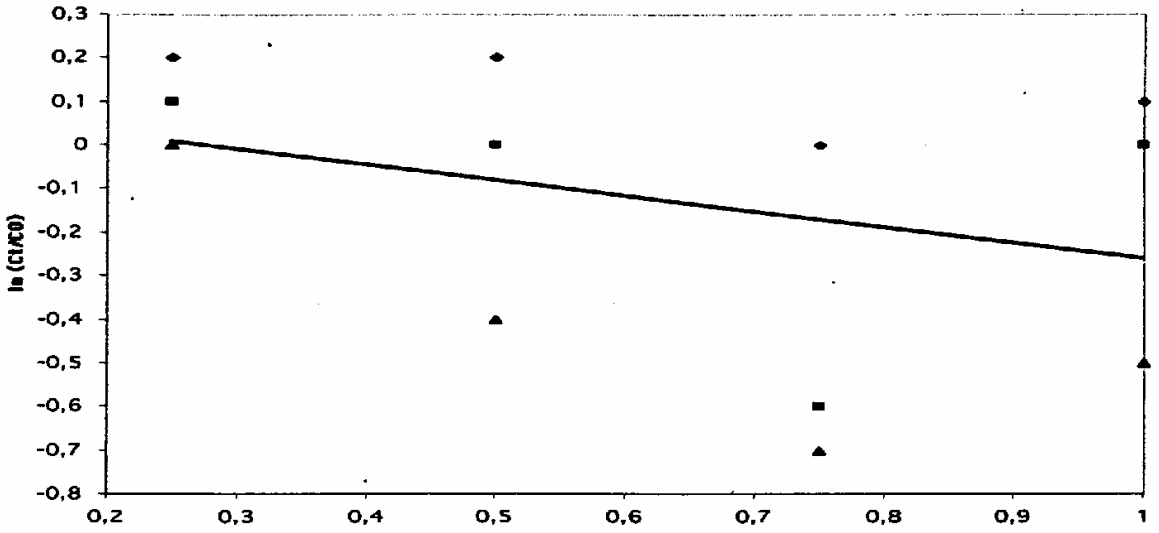


Fig. 4 - Secondo esperimento: tasso di produzione di microzooplancton sul fitoplancton totale. La retta di regressione (y = -0.56x + 0.1). calcolata su 12 punti (3 repliche per 4 diluizioni), ha un $r^2 = 0.13$ ($p<0.05$). In ordinata le percentuali di diluizione, in ascissa il logaritmo naturale del rapporto tra la concentracene iniziale (C_t) e quella finale (C_0) delle prede

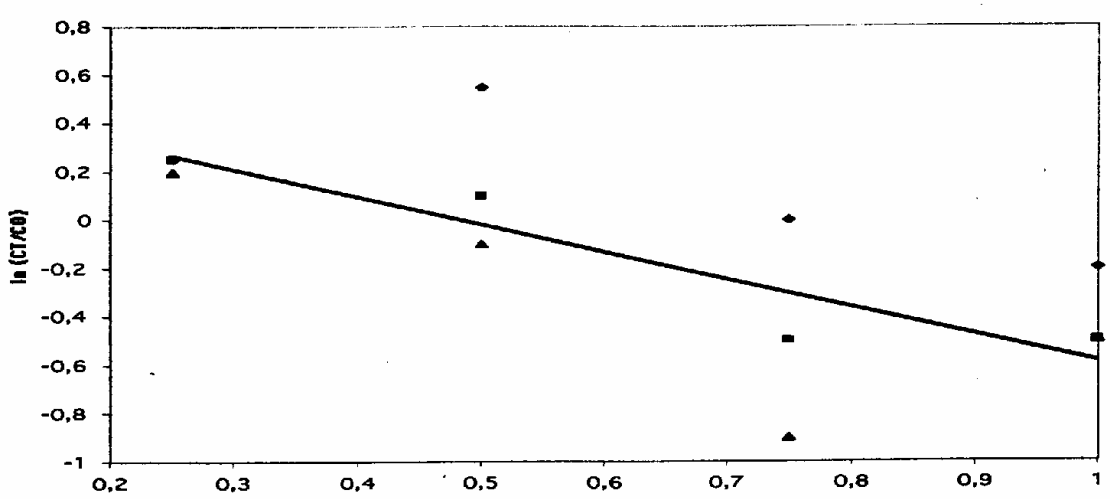


Fig. 5 - Secondo esperimento: tasso di predazione di microzooplancton sul nanoplancton (5 - 20µm). La retta di regressione (y = -l.14x -i- 0.55). calcolata su 12 punti (3 repliche per 4 diluizioni), ha un r = 0.87 ($p<0.001$). In ordinata le percentali di diluizione, in ascissa il logaritmo naturale del rapporto tra la concentrazione iniziale (C_t) e quella liliale (C_0) delle prede.

Infine, sulla scorta dei parametri acquisiti, è possibile calcolare il lasso di predazione del popolamento microzooplanctonico che varia da un minimo di 0.02 $\mu gCl^{-1}g^{-1}$ sulle diatomece nel primo esperimento ad un massimo di 1.77 $\mu gCl^{-1}g^{-1}$ sul popolamento fitoplanctonico totale del primo esperimento.

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.

Per quanto l'area oggetto di studio sia considerata estremamente oligotrofica (Innamorati *et al.,* 1995; Fabiano *et al.,* 1996), i popolamenti fitoplanctonici piuttosto scarsi e non si abbia voluto procedere ad alcuna aggiunta di nutrienti, i tassi di crescita istantanea del fitoplancton (k) non sono particolarmente bassi e del tutto paragonabili a quelli ricavati anche con l'aggiunta dei nutrienti in altre aree (Gallegos, 1989; McManus *et al.,* 1992; Verity *et al.,* 1993; Kamiyama, 1994; Froneman & Perisinotto, 1996; Strom & Strom, 1996) soprattutto per quanto riguarda il primo esperimento. In particolare, le primnesioficee presentano un valore prossimo a 2 g^{-1} che è Ira i massimi riscontrabili in letteratura. Nel secondo esperimento, quando anche la densità del popolamento fitoplanctonico si ,riduce della metà, i valori si abbassano bruscamente, fino a 0.14 g^{-1} per diventare.negativi per le dinoficee. In questi casi però la retta di regressione tra la crescita del fitoplancton e le diverse diluizioni presenta un $p>0.05$ e perciò non significativo e .quindi questi dati non sono stati considerati. Il tasso di grazing (g) risulta sempre piuttosto alto soprattutto se riferito a quello di crescita fitoplanctonica. D'altra parte valori di g superiori a k vengono riportati spesso in letteratura, soprattutto quando non si è proceduto all'aggiunta di nutrienti (Gallegos, 1989; McManus *et al.,* 1992; Verity *et al,* 1993; Landry *et al.,* 1995; Strom & Strom,

1996) e secondo Parjanape (1990) indicano un forte controllo della predazione sullo sviluppo dei popolamenti fitoplanctonici. Questo ovviamente determina perdite molto elevate dello standing stock iniziale e ancor di più della produzione potenziale in un ambiente fortemente oligotrofico, quale quello da noi studiato. La predazione del microzooplancton risulta in tutti e due gli esperimenti fortemente selettiva ed efficiente soprattutto sugli organismi di taglia inferiore ai 20 µm ed in particolare sulle primnesioficee. Questo è un dato di conferma dei più diffusi modelli relativi alla predazione. nei quali i predatori si nutrono di organismi di taglia inferiore (Longhurst, 1991). Nel primo esperimento il popolamento microzooplanctonico appare predare anche sulla frazione a diatomee (ed in particolare su *Hemiaulus hauckii)* cosi come osservato anche da Strom & Strom (1996) nel Golfo del Messico. E' noto che i dinoflagellati eterotrofi, quali *Gyrodinium* sp. presente nelle nostre raccolte, sono efficaci predatori di diatomee (Strom & Strom, 1996). *Gyrodinium* sp. è decisamente più scarso nel secondo esperimento, nel quale infatti le diatomee non vengono predate significativamente. Pertanto, al di là dell'abbondanza dei predatori, riveste significato anche la composizione tassonomica della comunità, la quale determina variazione significative nell'ambito delle prede selezionate. I due esperimenti condotti a breve scala temporale e spaziale indicano una grande variabilità nella composizione ed abbondanza dei popolamenti sia delle prede che dei predatori, ma ad ogni modo indicano che l'impatto della predazione del microzooplancton riveste un'importanza elevatissima. Va detto comunque che i valori da noi ottenuti non sono direttamente estrapolateli all'ambiente naturale, in quanto nei nostri esperimenti manca completamente l'effetto della predazione dei consumatori di livello superiore sul microzooplancton, che invece risulta essere sempre più importante (vedi la review di Pierce & Turner. 1992). La selezione operata per taglia invece si può considerare come assolutamente corrispondente alla realtà e quindi, oltre al controllo efficiente in termini di rimozione dello standing stock presente, l'impatto del grazing del microzooplancton risulta determinante nello strutturare la composizione dimensionale delle frazioni predate, privilegiando quelle di taglia maggiore e risultando quindi meno efficace nel controllare le fioriture delle classi dimensionali più elevate (diatomee, dinoflagellati autotrofi, ecc.).

BIBLIOGRAFIA

Albright L.J., Sherr E.F., Sherr B.F.& Fallon R.D. 1987. Grazing of ciliated protozoa on free and particle-attached bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 38: 125-129

Azam F., Fenchel T., Field J.G., Gray J.S., Meyer-Reil L.A. & Thingstad F. 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 10: 257-263

Bernard C. & Rassoulzadegan F. 1990. Bacteria or microflagellates as a major food source for marine ciliates: possible implication for the microzooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser., 64:* 147-155

Capriulo G.M. & Carpenter E.J. 1980. Grazing by 35 to 202 µm Micro-Zooplankton in Long Island Sound. *Mar. Ecol.,* 56: 319-326

Davis P.G. & Sieburth J.McN. 1984. Estuarine and Oceanic microflagellate predation of actively-growing bacteria: estimation by frequency of dividing-divided bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,33:* 111-120

Edler L. 1979. Recommendation for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. *National Swedish Environmental Protection Board,* 38 pp.

Evans G.T. & Paranjape M.A. 1992. Precision of estimates of phytoplankton growth and microzooplankton grazing when the functional response of grazers may be non linear. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 80: 285-290

Fabiano M., Povero P., Accornero A., Misic C., & Ossola C. 1996. Sostanza oceanica particellata e nutrienti nel Tirreno Sud Orientale (sistema Eolie e bacini di Cefalù e Gioia). In: Faranda, F.M. (ed.) Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia (EOCUMM95). *Data Rep.* (1996). *CoNISMa:* 115-134

Fenchel T. 1982. Ecology of heterotrophic micro-flagellates. IV. Quantitative occurence and importance as bacterial consumers. *Mar. Ecol. Prog. Ser., 9:* 35-42

Fenchel T. 1987. Ecology of Protozoa. The Biology of Free-Living Phagotrophic Protists. Springer-Verlag, Berlin: 197 pp.

Fonda Umani S., Milani L. & Martecchini E. 1995. Distribuzione dei popolamenti microzooplanctonici durante la campagna oceanografica Eolie 1994. In: Faranda, F.M. e Povero, P. (eds.) Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia (EOCUMM94). *Data rep.* (1995). C*oNISMa:* 223-244

Fonda Umani S. & Monti M. 1993. Distribuzione dei popolamenti microzooplanctonici nell'Arcipelago Toscano. In: Progetto Mare, Ricerca sullo studio biologico, chimico e fisico dell'Alto Tirreno Toscano. Regione Toscana (Università di Firenze ed.): 157-260

Froneman P.W. & Perissinotto R. 1996. Structure and grazing of the microzooplankton communities of the Subtropical Convergence and a warm-core eddy in the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 135: 237-245

Furhman J.A. & McManus G.B. 1984. Do bacteria-sized marin eucaryotes consume significant bacterial production? *Science,* 224: 1257-1260

Gallegos C.L. 1989. Microzooplankton grazing on phytoplankton in the Rhode River, Maryland: nonlinear feeding kinetics. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 57: 23-33

Gast V. 1985. Bacteria as a food source for microzooplankton in the Schlei Fjord and Baltic Sea with special reference to ciliates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 22: 107-120

Gifford D.J. & Dagg M.J. 1990. The microzooplankton-mesozooplankton link: consumption of planktonic Protozoa by the calanoid copepods *Acartia tonsa* Dana and *Nencalanus pulchrus* Murukawa. *Mar. Microb. Food Webs, 5:* 161-177

Gonzales J.M., Sherr E.B. & Sherr F.B. 1990. Size-selective grazing on bacteria by natural assemblages of estuarine flagellates and ciliates. *Appl. Environ. Microbiol* 56: 583-589

Haas L.W. & Webb K.L. 1979. Nutritional mode of several non pigmented flagellates from the York River Estuary, Virginia.*J. Expl. Mar. Biol. Ecol.,* 39: 125-134

Heinbokel J.P. & Beers J.R. 1979. Studies on the functional role of tintinnids in the Southern California Bight. Ili Grazing impact of natural assemblages. *Mar. Ecol.,* 52: 23-32

Innamorati M., Massi L., Nuccio C. & Biondi N. 1995. Phytoplankton and irradiance in the photic zone of the Eolian Archipelago waters. In: Faranda, F.M. (ed.) Caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia (EOCUMM94). *Data rep.* (1995). *CoNISMa:* 129-158

Jonsson P.R. 1986. Particle size selection, feeding rates, and growth dynamics of marine planktonic oligolrichous ciliates (Ciliophra: Oligotrichina). *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 33: 265-277

Kamiyama T. 1994. The impact of grazing by microzooplankton in Northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Seam, Japan. *Mar. Biol.* 119: 77-88

Landry M.R. & Hasset R.P. 1982. Estimating the Grazing Impact of Marine Microzooplankton. *Mar. Biol.,* 67: 283-288

Landry M.R., Kirshtein J. & Constantinou, J. 1995. A refined dilution technique for measuring the community grazing impact of microzooplankton, with experimental tests in the central equatorial Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 120: 53-63

Longhurst A.R. 1991. Role of the marine biosphere in the global carbon cycle. *Limnol. Oceanogr.,* 36: 1507-1526

McManus G.B. & Ederington-Cantrell M.C. 1992. Phytoplankton pigments and growth rates, and microzooplankton grazing in a large temperate estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 87: 77-85

Paranjapc M.A. 1990. Microzooplankton herbivory on the Grand Bank (Newfoundland. Canada): a seasonal study. *Mar. Biol.,* 107: 321-328

Pierce, R.W. & Turner, J.T. 1992. Ecology of planktonic Ciliates in Marine Food Webs. *Reviews in Aquatic Sciences,* 6(2): 139-181

Rassoulzadegan F., Laval-Peuto M. & Sheldon, R.W. 1988. Partitioning of the food for metazoans: a "missing" trophic link in marine pelagic food webs? *Mar. Microb. Food Webs,* 1: 61-80

Sherr E.B., Sherr F.B., Fallon R.D. & Newell S.Y. 1986. Small aloricate ciliates as a major component of the marine heterotrophic nanoplankton. *Limnol Oceanogr.,* 31:177-183

Sherr E.B. & Sherr F.B. 1987. High rates of consumption of bacteria by pelagic ciliates. *Nature,* 325:710-711

Sherr B.F., Sherr E.B., McDaniel J., Gonzalez J., Hanson R. 1990. Size selective grazing by bacterivorous protozoa: implications for bacterial production. *EOS* 7nmv.,7H2): 162

Simek K.. Bobkova J., Macek M., Nedoma J. & Psenner R. 1995. Ciliate grazing on picoplankton in a eutrophic reservoir during the summer phytoplankton maximum: A study al the species and community level. *Limnol. Oceanogr.*. 40 (6): 1077-1090

Sokal R.R. & Rohlf F..I. 1981. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman & Co., San Francisco.

Sparla M.P. & Guglielmo L. 1994. Distribuzione del microzooplankton nello stretto di Messina (estate 1990). Atti del 10° Congresso A.I.O.L., Alassio, 4-6 Novembre 1992: 307-325

Stoecker O.K. & Capuzzo J.M. 1990. Predation on protozoa: its importance to zooplankton *J Plankton res.,* 12: 891-908

Strom S.L. & Strom M.W. 1996. Microplankton growth, grazing, and community structure in the Northern Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 130: 229-240

Turner J.T. & Granéli E. 1992. Zooplankton feeding ecology: grazing during enclosure studies of phytoplankton blooms from the west coast of Sweden. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 157(1): 19-31.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommung dcr quantitativcn Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein theor. Angew. Limnol., 9:* 1-38

Verity P.G. 1986. Growth rates of natural tintinnid populations in Narragansett Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*. 29: 117-126

Verity P.G., Stoecker O.K.. Sieraki M.E., Burkill P.H., Edwards E.S. & Tronzo, C.R. 1993. Abundance, biomass and distribution of heterotrophic dinoflagellates during the North Atlantic spring bloom. *Deep-Sea rex.,* 40: 227-244

Waterhouse T.Y. & Welschmeyer N.A. 1995. Taxon specific analisis of microzooplankton grazing rates and phytoplankton growth rates. *Limnol. Oceanogr.,* 40 (4): 827-834

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 145-154, luglio 2000

PARAMETRI AMBIENTALI IN MAR LIGURE E DENSITÀ DI UOVA DI *ENGRAULIS ENCRASICOLUS* (1985-1996)

Mario PETRILLO, Daniela MARTORANO, Norberto DELLA CROCE

Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università degli Studi di Genova

ABSTRACT

The study of fortnightly samples collected on four stations of the pilot area (Chiavari) for a decade (1985-1996) has shown the optimum lime for the spawning (May-August) of anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758). Eggs densities in the spawning lime have been correlated with several environmental parameters to ascertain their influence on the stock. A statistically significant correlation was found for temperature: for At decreasing values through the reproductive period (May-August) in a decade, increasing eggs densities have been observed.

This research once more has confirmed the difficulties to study pelagic and migratory species.

Keywords: *Engraulis encrasicolus,* eggs, environmental parameters, MED, Ligurian Sea.

RIASSUNTO

Campionamenti quindicinali, effettuali in quattro stazioni della zona pilota (Chiavari) tra il 1985 ed il 1996, hanno reso possibile individuare (Maggio-Agosto) il momento ottimale per la riproduzione dell'acciuga *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus. 1758). La densità delle nova raccolte è stata correlata con i valori di diversi parametri ambientali registrati durante il periodo di riproduzione al fine di determinare se sia da prendere in considerazione la possibilità di un loro effetto sulla futura consistenza dello stock. In effetti, tra il 1985 ed il 1996, per il parametro temperatura, si è osservata una correlazione statisticamente significativa: a valori decrescenti delle Δt del periodo riproduttivo (Maggio-Agosto) corrispondono valori crescenti delle densità delle uova.

Ancora una volta questa esperienza conferma la difficoltà dello studio di specie pelagiche e migratorie.

1. INTRODUZIONE

La legge n° 41 del 17 Febbraio 1982 concernente il "Piano per la Realizzazione e lo Sviluppo della Pesca Marittima" è stata resa esecutiva dall'allora Ministero della

Marina Mercantile - Divisione Generale della Pesca.

L'Istituto di Scienze Ambientali Marine dell'Università degli Studi di Genova, attualmente Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse, ha collaborato dal 1985 al 1996 al programma del gruppo di lavoro "Piccoli Pelagici", promosso dal Comitato per il Coordinamento della Ricerca Scientifica e Tecnologica applicato alla pesca marittima. La ricerca si è valsa dei contributi ricevuti dall'ex Ministero della Marina Mercantile, poi Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali (attualmente Ministero per le Politiche Agricole).

Nell'ambito di 'questo programma il presente lavoro ha per scopo la determinazione delle quantità di uova di *Engraulis encrasicolus* deposte nel Golfo Tigullio e la ricerca delle correlazioni tra la densità delle uova e i valori di diversi parametri ambientali.

2. MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta secondo le metodiche stabilite dal Gruppo di lavoro per la gestione delle risorse biologiche del mare facente parte del Comitato per il Coordinamento della Ricerca Scientifica e Tecnologica applicato alla pesca marittima.

I campionamenti sono stati condotti in Mar Ligure dal Marzo 1985 al Settembre 1996 (con un'interruzione di due anni, 1989-1990, dovuta a motivi tecnici e/o amministrativi) con frequenza quindicinale, in quattro stazioni fisse (A, B, C e D) nella zona pilota di Chiavari in corrispondenza delle isobate dei 200, 125, 80 e 40 m (Fig. 1).

Le pescate sono state eseguite in doppio obliquo con "Bongo 20" Hydro Bios provvisto di una coppia di retini di maglia di 335 µm ed equipaggiato con flussometri General Oceanic 2030 e con profondimetro Mares Parabolic. Il "Bongo 20", immerso

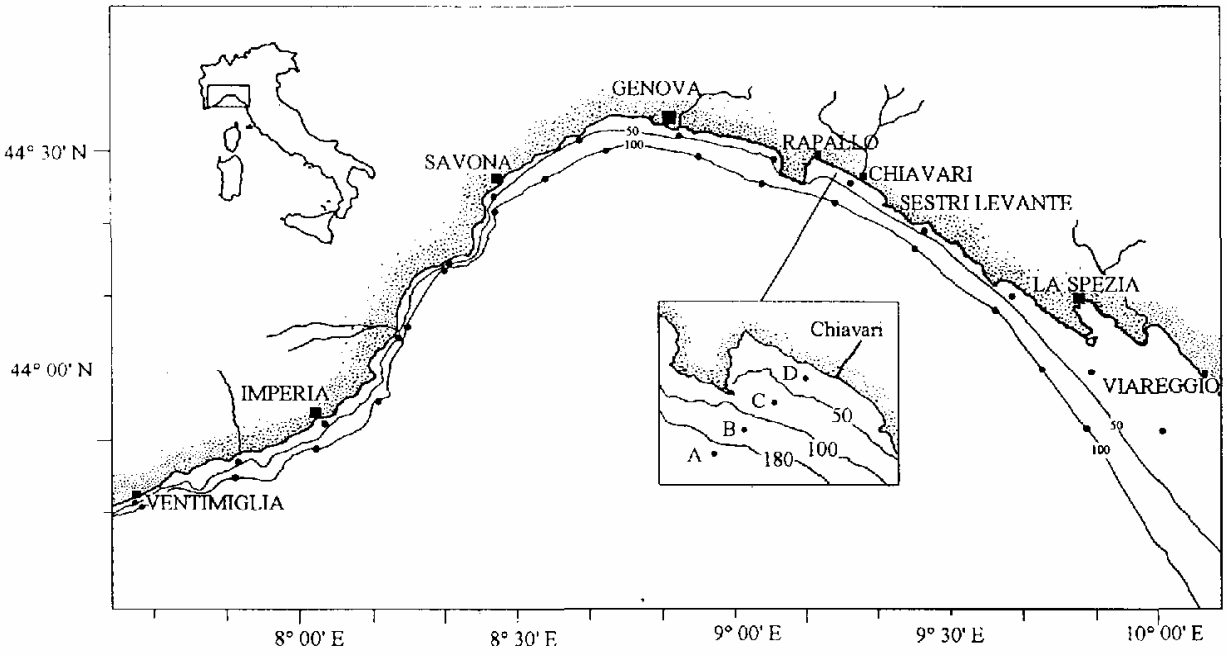


Fig. 1: Posizione delle stazioni di campionamento nella zona pilota di Chiavari.

nelle quattro stazioni con il battello in movimento in direzione Ovest-Est, a costante numero di giri del motore, ha campionato approssimativamente nella fascia 0-60 m sulle stazioni A, B e C e nella fascia 0-30 m sulla stazione D.

I campioni sono stati fissati a bordo con formalina al 4% neutralizzata e, successivamente, in laboratorio, è stato effettuato il riconoscimento e la valutazione della densità delle uova di acciuga. Tali densità sono presentate come medie del numero, riportato a metro quadro, delle uova raccolte due volte al mese sulle quattro stazioni. L'uso della espressione del dato su metro quadro [(n° uova raccolte/metri cubi filtrati)·metri profondità raggiunta] rende confrontabili i campionamenti planctonici effettuati a diverse profondità.

In ogni stazione si è provveduto al rilevamento della temperatura e della salinità superficiali mediante termometro a pozzetto e salinometro Aanderaa 3012 con sensore 2975. La trasparenza è stata misurata mediante Disco di Secchi. Le misure delle precipitazioni sono state fornite dall'Osservatorio Meteorologico di Chiavari.

Quale parametro indicatore della disponibilità alimentare per l'acciuga, sono state analizzate le densità del cladocero *Penilia avirostris* Dana registrate nei campioni prelevati sulla stazione C. A questo organismo viene attribuito un ruolo di base nell'alimentazione dei pesci planctofagi nel periodo estivo, potendo arrivare a costituire anche il 50 % del popolamento zooplanctonico (Pitsik, 1960; Margineanu, 1963; Della Croce & Bettanin, 1964).

Nei dieci anni effettivi di campionamento nella zona pilota sono stati raccolti 1844 campioni. Metà dei campioni è stata oggetto di studio e la rimanente metà è depositata nella planctoteca dell'Istituto per ulteriori ricerche.

Tutti i dati raccolti tra Marzo 1985 e Settembre 1996 nella zona pilota di Chiavari sono stati presentati in Rapporti Tecnici (Albertelli *et al,* I988a, 1988b, 1988c, 1989; Angolino *et al,* 1994a, 1994b, 1994c, 1995, 1996a, 1996b).

3. RISULTATI

3.1. Numero di uova/mq

Interpretando la presenza di uova come indice di una deposizione avvenuta in zona si osserva che il fenomeno si verifica - con una frequenza di almeno nove anni sui dicci di effettivo campionamento - nei mesi tra Maggio ed Agosto. I valori medi decennali delle densità di uova rilevate mensilmente nella zona pilota di Chiavari indicano il massimo in Giugno (27.3 uova/mq), il minimo in Agosto (2.6 uova/mq) e valori intermedi e simili in Maggio (19.8 uova/mq) e Luglio (19.9 uova/mq) (Tab. 1, Fig. 2)).

Nell'intervallo 1985-1996 la media dei totali delle densità annuali del numero di uova di *Engraulis encrasicolus rilevate* nella zona pilota di Chiavari è stata pari a 70.9 /mq (dev. stand.= 46.9); valori annuali particolarmente elevati sono stati riscontrati nel 1986 (135.2 uova/mq), nel 1993 (132.4 uova/mq) e nel 1985 (113.0 uova/mq), mentre il minimo si è avuto nei 1991 (9.5 uova/mq).

E' da notare pertanto che, a fronte della notevole ripetitività temporale di deposizione nei mesi da Maggio ad Agosto, fatto che permette di definire questo intervallo come «periodo riproduttivo» dell'acciuga nelle acque del Golfo Tigullio, si è riscontrata una inarcata variabilità nel numero di uova registrate nei prelievi bimensili nei diversi anni, come evidenziato dagli elevati valori delle deviazioni standard relative al periodo

considerato.

I dati ambientali raccolti nei mesi da Maggio ad Agosto e riportati nella tabella 2 fanno preciso riferimento al periodo riproduttivo dell'acciuga nella zona pilota.

Tab. 1 - Uova di *Engraulis encrasicolus* nella zona pilota di Chiavari (1985 - 1996). Densità espresse in numero/mq come: medie mensili (4 stazioni campionate bimensilmente) e loro totale per singolo anno (I); media decennale mensile e relativa deviazione standard (II). Viene riportata inoltre la frequenza della presenza di uova nei vari mesi dell'effettivo decennio (III).

Uova	I												II		III
Engraulis e.	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	media	dev.std.	presenza
Gennaio	*				*	*									
Febbraio	*	0.8			*	*							0.1	0.3	1
Marzo					*	*	0.1			0.7			0.1	0.2	2
Aprile					*	*		0.2		4.2		1.3	0.6	1.3	3
Maggio	19.2	12.9	27.0	10.7	*	*	0.3	6.6	52.8	15.7	47.9	4.5	19.8	17.8	10
Giugno	37.0	21.8	0.2	52.0	*	*	0.9	2.4	53.4	5.8	26.5	73.4	27.3	26.0	10
Luglio	47.1	96.6	0.2		*	*	2.5	9.3	23.5	5.0	12.2	2.6	19.9	30.6	9
Agosto	8.7	3.2		1.9	*	*	2.9	3.5	2.6	0.2	0.4	2.9	2.6	2.5	9
Settembre	0.9				*	*	2.8	0.3				0.7	0.5	0.9	4
Ottobre					*	*						*			
Novembre					*	*						*			
Dicembre					*	*						*			
Totale	113.0	135.2	27.4	64.7	*	*	9.5	22.3	132.4	31.6	87.0	85.4	70.9	46.9	

*) Mancato campionamento per motivi tecnici e/o amministrativi

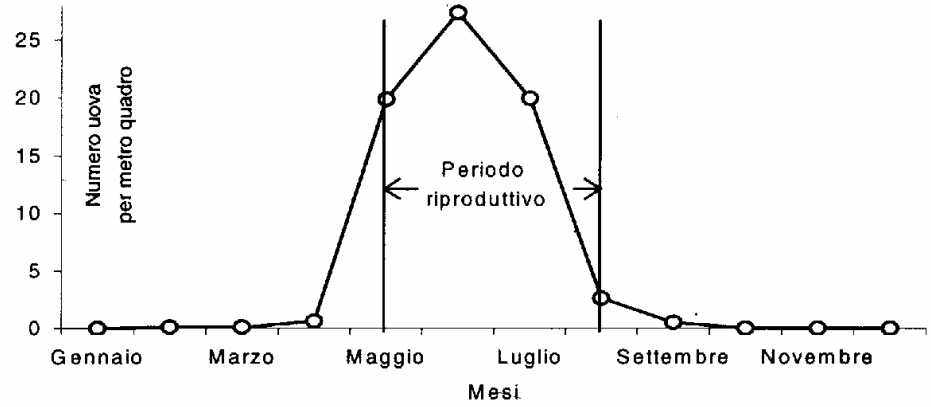


Fig. 2: Valori medi delle densità mensili di uova di *Engraulis encrasicolus,* espressi in numero/mq e relativi all'intera Zona Pilota (stazioni A, B, C e Dì negli anni dal 1985 al 1996.

3.2. Parametro temperatura

La temperatura superficiale durante il periodo riproduttivo (Maggio-Agosto) è risultata compresa tra 16.0 °C (1987 e 1991) e .27.1 °C (1992). Tali valori sono in accordo con recenti dati di bibliografia relativi al momento del,la deposizione di *E.*

encrasicolus (per il Mar Nero: Lisovenko & Andrianov, 1996; per il Mediterraneo: Demir, 1965; per l'Adriatico: Regner 1996).

Si può notare che negli anni in cui si sono registrate le maggiori densità di uova di acciuga (1986 e 1993) la temperatura superficiale media durante il periodo riproduttivo ha raggiunto i valori maggiori ma, considerando l'intero decennio di campionamento, non viene riscontrata correlazione statisticamente significativa. Tuttavia i Δt del periodo di deposizione in ogni singolo anno risultano inversamente correlati, ed in maniera significativa al 5%, con le densità delle uova di acciuga (Fig. 3).

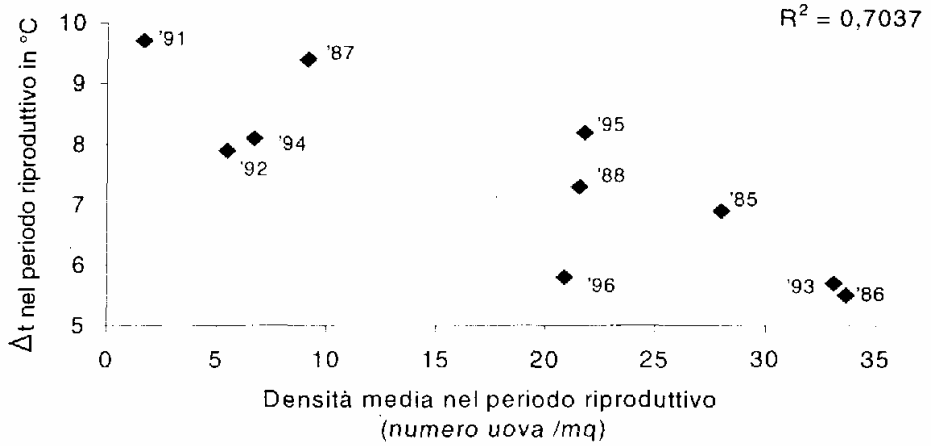


Fig. 3: Correla/ione tra densità medie delle uova di acciuga e Al durante il periodo riproduttivo (Maggio - Agosto) nel decennio 1985-1996.

In particolare si può notare che nel corso del periodo riproduttivo del 1991, anno di minore presenza di uova, l'escursione di temperatura (9.7°C) è stata quasi doppia rispetto a quella registrata negli anni più produttivi, il 1986 ed il 1993 (rispettivamente 5.5 e 5.7°C). Il ciclo termico annuale medio nella zona pilota per l'intero periodo 1985-1996 mette in evidenza che il processo di riscaldamento delle acque superficiali costiere ha avuto graduale avvio nei mesi di Marzo ed Aprile per proseguire nel mese di Maggio con un marcato incremento avvertito in seguito anche nei mesi di Giugno e Luglio. A questo proposito è interessante sottolineare che gli anni 1985, 1986 e 1993, per i quali sono stati osservati nel mese di Maggio i più rilevanti incrementi termici tra i 2 campionamenti quindicinali (rispettivamente 4.0, 4.1 e 3.7°C), sono stati i più favorevoli per la deposizione dell'acciuga. Non è da escludere che il variabile comportamento termico delle acque superficiali all'inizio del periodo di riscaldamento possa essere messo in relazione all'avvicinamento al litorale dell'acciuga ed all'avvio del momento riproduttivo. Di rilievo è il fatto che negli anni in cui si è registrata la massima densità di uova sia stata raggiunta oltre alla maggiore escursione termica nel mese di Maggio, all'inizio del processo di riscaldamento primaverile, anche la minore differenza tra la temperatura minima e la temperatura massima, relative all'intero periodo riproduttivo Maggio-Agosto.

Tab. 2 – Parametri considerati nella zona pilota di Chiavari (1985-96) nel periodo riproduttivo dell'acciuga (Maggio-Agosto): vengono riportati i valori medi di 4 stazioni campionate bimensilmente. Per *P. avirostris* viene riportato il valore medio bimensile per mc registrato sulla sola stazione C. Viene inoltre riportato il potenziale riproduttivo del cladocero.

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	media	d.std
TEMPERATURA SUPERFICIALE (°C)														
Maggio	18.0	20.3	16.0	18.5	*	*	16.0	19.2	19.7	18.6	17.4	19.1	18.3	1.90
Giugno	21.2	21.4	19.9	20.9	*	*	21.6	20.3	23.9	21.3	20.6	24.2	21.5	1.61
Luglio	24.9	25.3	25.4	25.3	*	*	25.7	24.3	24.1	26.1	25.6	23.6	25.0	1.25
Agosto	23.9	25.8	24.9	25.8	*	*	25.7	27.1	25.4	26.7	24.5	24.9	25.5	1.06
media	22.0	23.2	21.5	22.6	*	*	22.3	22.7	23.3	23.2	22.0	22.9	22.6	2.90
SALINITÁ SUPERFICIALE (‰)														
Maggio	*	*	*	36.98	*	*	37.60	37.69	37.74	37.08	37.05	36.80	37.28	0.36
Giugno	*	*	*	36.78	*	*	36.77	37.44	37.69	37.80	37.66	37.48	37.37	0.39
Luglio	*	*	*	37.77	*	*	37.84	37.53	37.89	38.08	37.80	37.91	37.83	0.16
Agosto	*	*	*	38.29	*	*	38.17	37.89	38.10	38.10	38.20	38.04	38.11	0.12
media	*	*	*	37.5	*	*	37.6	37.6	37.9	37.8	37.7	37.6	37.6	0.30
TRASPARENZA (m)														
Maggio	18	22	14	12	*	*	12	16	19	11	10	14	15	5.5
Giugno	17	20	22	21	*	*	10	18	26	24	20	28	21	6.4
Luglio	25	17	30	33	*	*	26	29	29	25	25	25	26	4.7
Agosto	30	19	19	30	*	*	32	31	27	21	24	30	26	6.7
media	22.3	19.6	21.1	24.0	*	*	20.3	23.5	25.6	20.2	19.6	24.3	22.0	4.7
PRECIPITAZIONI (mm)														
Maggio	104.4	7.0	1.7	84.4	*	*	69.9	33.4	40.0	136.0	184.6	80.4	74.2	56.9
Giugno	65.0	39.8	56.8	106.2	*	*	39.2	116.0	20.0	166.0	43.8	66.4	71.9	47.0
Luglio	0.0	58.8	46.3	7.0	*	*	20.2	308.0	16.0	28.2	1.0	24.4	51.0	82.1
Agosto	15.2	15.4	5.0	20.4	*	*	2.6	0.0	52.0	26.0	42.0	126.2	30.5	34.5
media	46.2	30.3	27.5	54.5	*	*	33.0	114.4	32.0	89.1	67.9	74.4	56.9	17.7
DENSITÁ *Penilia avirostris* (individui /mc)														
Maggio	0.3	0.0	0.0	0.5	*	*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.2	0.3
Giugno	32.2	33.0	5.9	82.0	*	*	0.0	1.4	1.1	0.8	0.0	2.6	15.9	25.2
Luglio	2.4	215.5	78.4	98.9	*	*	0.0	2.1	737.9	136.9	9.4	121.4	140.3	210.6
Agosto	8.1	250.6	176.5	21.0	*	*	0.0	25.2	53.3	364.9	7.3	37.4	94.4	119.7
media	10.8	124.8	65.2	50.6	*	*	0.0	7.2	198.1	125.6	4.2	40.6	62.7	57.3
Pot.Ripr.	3.2	2.8	3.0	3.4	*	*	2.1	2.8	2.8	3.2	3.9	4.0	3.1	0.5

(*) Mancato campionamento per motivi tecnici e/o amministrativi

3.3. Parametro salinità

Nel periodo Maggio - Agosto le salinità superficiali sono risultate comprese tra 36.77 ‰ (1991) e 38.29 ‰ (1988). Poiché la raccolta dei dati relativi alla salinità superficiale ha avuto inizio solo a partire dal 1988, è mancata l'opportunità di porre in correlazione i valori della salinità con le elevate densità di uova registrate nel 1985 e nel 1986. L'analisi della correlazione tra le densità di uova ed i valori di salinità superficiale media nel periodo riproduttivo viene ridotta a soli sette anni ed individua un coefficiente di correlazione inferiore alla soglia di significatività al 5%.

3.4. Parametro trasparenza

La trasparenza delle acque nel periodo Maggio - Agosto è risultata compresa tra 10 m (1991 e 1995) e 33 m (1988). Non esiste correlazione tra entità di deposizione e valore di trasparenza: si può notare che nel periodo riproduttivo del 1986 e del 1993, anni di particolare abbondanza di uova, sono state registrate rispettivamente la minore e la maggiore trasparenza media.

3.5. Parametro precipitazioni

Nei dieci anni in osservazione, la quantità di pioggia caduta è variata nel periodo Maggio - Agosto tra i valori mensili di 0 mm (1985 e 1992) e 308 mm (1992).
Il valore delle precipitazioni medie di ogni singolo anno non presenta correlazione significativa con la densità delle uova di acciuga: in anni caratterizzati da elevata densità di uova, come il 1986 ed il 1993, si sono registrate scarse precipitazioni che hanno caratterizzato anche il 1991, anno con minima densità di uova.
Il tentativo di correlare le precipitazioni con le densità delle uova /mq è stato in primo luogo suggerito dall'ipotesi che la sommatoria del trasporto a mare di nutrienti e di sostanza organica operato da acque piovane e di bacino potesse tradursi in tempi brevi in un arricchimento utile del mezzo ambiente.

3.6. Parametro disponibilità alimentare

Questo parametro viene considerato unicamente a livello del cladocero *Penilia avirostris,* componente stagionale dell'alimentazione dell'acciuga. Questo cladocero vive in acque costiere superficiali raggiungendo elevate densità di popolamento (anche diverse migliaia di individui/mc) nutrendosi di detrito e minuti organismi (<5µm) (Della Croce, 1958). Nei 10 anni di effettivo campionamento il numero medio di individui di *P. avirostris* nel periodo Maggio - Agosto, momento stagionale ottimale per la riproduzione dell'acciuga, è risultato pari a 62.7 organismi/mc (non si è riportato il valore a mq trattandosi dei dati ottenuti in corrispondenza della sola stazione C, unica disponibile fino a questo momento).

In tale periodo, la densità del popolamento di questo cladocero si è dimostrata rilevante soltanto a partire da Giugno, in particolare nei mesi di Luglio ed Agosto, con valori medi di 140.3 e 94.4 organismi/mc. Questa distribuzione temporale è in accordo con quanto rilevato in altre aree (Della Croce, 1958).

Il tempo di comparsa del cladocero nelle acque della zona pilota limita dal punto di vista temporale alla sola fase estiva del periodo riproduttivo dell'acciuga l'importanza che *P. avirostris* può assumere nella sua dieta. Tale importanza d'altra parte è assai significativa se si considera la riduzione quantitativa e qualitativa del plancton in

estate.

In mancanza di correlazione statisticamente significativa, si può solo far notare che, analogamente a quanto osservato per le densità delle uova di acciuga, la densità media di individui del cladocero nel periodo di riproduzione dell'acciuga è elevata negli anni 1986 e 1993 (rispettivamente 124.8 e 198.1 organismi/mc) ed è particolarmente bassa (0.01 individui/me) nel 1991.

Il 1991 appare particolare anche per quel che riguarda il potenziale riproduttivo di *P. avirostris,* inteso come numero di uova partenogenetiche rinvenute all'interno della sacca ovigera di ogni femmina in fase riproduttiva. Infatti si è potuta registrare una discesa del potenziale riproduttivo a 2.1 uova per femmina, a fronte di una media di 3.1 uova per femmina nel periodo 1985-1996.

4. CONCLUSIONI

Le osservazioni condotte, se pure con interruzioni, tra il 1985 ed il 1996, nella zona pilota di Chiavari, non hanno consentito di accertare specifiche interazioni tra la densità delle uova di acciuga ed i parametri esaminati.

Pertanto non è attualmente possibile individuare le cause che concorrono ad uno sviluppo favorevole della stagione riproduttiva dell'acciuga. Si può ipotizzare che particolari valori di deposizione registrati in alcuni anni (1985, 1986, 1991 e 1993) non possano essere semplicemente ricondotti alla influenza di parametri ambientali analizzati singolarmente, ma siano da collegare ad una azione congiunta e sinergica di più parametri ambientali e biologici. In questo contesto appare evidente l'incompletezza dell'indagine ambientale carente in tempo reale di conoscenze sulla disponibilità alimentare (ad esempio particolato organico, filo e zooplancton) che gioca un ruolo determinante nel ciclo biologico dell'acciuga, nonché sullo stato di maturità dello stock e sulle vicende che accompagnano l'uovo dal momento della deposizione.

Si ritiene importante, tuttavia, per una più mirata conduzione di successivi studi biologici, aver definito quale momento stagionale ottimale per la riproduzione dell'acciuga il periodo Maggio - Agosto.

Fondamentale importanza riveste altresì l'aver individuato, con valore di correlazione altamente significativo, l'esistenza di una relazione inversa, per quanto riguarda i campionamenti effettuati nell'intervallo di tempo Maggio - Agosto, tra la densità delle uova di acciuga e il At delle acque superficiali.

Questa esperienza decennale conferma, come già osservato in una precedente indagine (Della Croce & Arnone, 1969) la difficoltà di "avvicinare" cause ed effetti della problematica che concerne l'acciuga in particolare e tutto il pesce azzurro in generale. Emerge chiaramente l'opportunità di affiancare allo studio delle componenti ambientali in gioco in tempo reale, a breve o lungo termine, sia una più complessa indagine oceanografica che tenga in debito conto, ad esempio l'importanza delle correnti, sia l'esame dei vari aspetti riguardanti il ciclo biologico della specie, cosa non facilmente attuabile, in considerazione della natura pelagica e migratoria dell'acciuga.

BIBLIOGRAFIA

Albertelli G., Dagnino 1., Della Croce N., Olivari E. & Salerai Picene P. 1988a. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1985 - Marzo 1986 (Primo anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn.,* 27, 14pp.

Albertelli G., Angelino M.I., Della Croce N. & Olivari E. 1988b. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1986 - Marzo 1987 (Secondo anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova. Rapp. Tecn.,* 28, 14 pp.

Albertelli G., D'Ambrosio N., Della Croce N. & Olivari E. 1988c. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1987 - Marzo 1988 (Terzo anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn.,* 29, 40 pp.

Albertelli G., Della Croce N., Olivari E. & Salemi Picene P. 1989. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Marzo 1988 - Marzo 1989 (Quarto anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Cali. Idrob. Pescic. Univ.di Genova, Rapp. Tecn.,* 31,42 pp.

Angelino M.I., Della Croce N., Giallain M., Olivari E. & Petrillo M. 1994a. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Gennaio 1991 - Dicembre 1991 (Quinto anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn.,* 46, 43 pp.

Angelino M.I., Della Croce N., Giallain M., Olivari E. & Petrillo M. 1994b. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Gennaio 1992 - Dicembre 1992 (Sesto anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn.,* 47, 43 pp.

Angelino M.I., Della Croce N., Giallain M., Olivari E. & Petrillo M. 1994c. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Gennaio 1993 - Dicembre 1993 (Settimo anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn..* 48,43 pp.

Angelino M.I., Della Croce N., Giallain M., Olivari E., Panciroli H. & Petrillo M. 1995. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Gennaio 1994 – Dicembre 1994 (Ottavo anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn.,* 50, 42 pp.

Angelino M.I., Della Croce N., Giallain M., Olivari E., Panciroli H. & Petrillo M. 1996a. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Gennaio 1995 - Dicembre 1995 (Nono anno), *Ist. Sc. Amb. Mar., Catt. Idrob. Pescic. Univ. di Genova, Rapp. Tecn.,* 51,42pp.

Angelino M.I., Della Croce N., Giallain M., Martorano D., Panciroli H. & Petrillo M. 1996b. Uova e larve di acciughe nella zona pilota. Chiavari: Gennaio 1996 - Settembre 1996 (Decimo anno). *Ist. Sc. Amb. Mar., Cali. Idrob. Pescic. Univ. di Genova. Rapp. Tecn.,* 53, 42 pp.

Della Croce N. 1958. Considerazioni biologiche su un cladocero marino: *Penilia aviroslris* Dana. *Atti Acc. Lig. Sci. e Let.* Vol XV: 1-15.

Della Croce N. & Bettanin S. 1964. Osservazioni sul ciclo biologico di *Penilia avirostris* Dana del Golfo di Napoli. *Boll. Mus. e Ist. Biol. Univ. di Genova,* XXXIII. 201:49-68.

Della Croce N. & Amone S. 1969. Meteorologia e pesce azzurro nel Mar Ligure (1949-1963). CNR Serie 8, 32,72 pp.

Demir N. 1965. Synopsis of biological data on anchovy Engraulis encrasicholus (Linnaeus, 1758) (Medilerranean and adjacent seas). *FAO Fish. Synops.,* 26 (1), 42 pp.

Lisovenko L.A. & Andrianov D. P. 1996. Reproductive biology of anchovy (Engraulis encrasicolus ponticus Alexandrov 1927) in the Black Sea. *Sci. Mar.,* 60 (Supl. 2): 209-218.

Margineanu C., 1963. Quclques observations sur le développement des Cladocères près du littoral roumain de la Mer Noire avec références spéciales sur *Fenilici avirostris* Dana (1849). *Rapp. Proc. - Verb. Reun. C.I.E.S.M.M.,* 17(2):523-530.

Pitsik O.K.. 1960. Plancton, un des facteurs esscntiels, prédéterminant l'abondance des poissons pélagique dans la Mer Noire. *Rapp. Proc. - Verb. Reun. C.I.E.S.M.M.,* 15(2): 369-373.

Regner S. 1996. Effects of environmental changes on early stages and reproduction of anchovy in the Adriatic Sea. *Sci. Mar.,* 60 (Supl. 2): 167-177.

Sharp R.G. 1995. Long term variation of a dominant zooplancton species in the Ligurian Sea *(Penilia avirostrix* Dana). Erasmus Scheme, Univ. of St. Andrews. Ph.D. Thesis (Pari. 3), 75 pp.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portauovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 155-166, luglio 2000

EVOLUZIONE LITORANEA IN SINISTRA FOCE SELE (GOLFO DI SALERNO) TRA NOVEMBRE '96 E NOVEMBRE '97

Ennio COCCO, Sabato IULIANO

Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Federico II", Napoli

ABSTRACT

The morphodynamic and sedimentological features of the coastal zone (from the dune ridge to the submarine beach) on the left side of the Sele river mouth (Gulf of Salerno, Southern Italy) has been delineated in a previous work (Cocco & Iuliano, 1999). A defense project with the goal of reducing the energy of the waves incident on the coast and restoring the beach and the foredune has been proposed.

This article presents the morphological and volumetric variations of the emerged beach and the foredune, recorded in six topographic surveys carried out between November 1996 and November 1997.

The results indicate an average shoreline retreat of 5 m on an average section of 30 m and a net loss of sediment slightly inferior to 28.000 m^3 (10,7 m^3 per linear meter of coast); of this volume about 23.500 m^3 nave resulted lost on account of the seastorms which occurred between November '96 and January '97.

The evolution of the beach has been greatly influenced by the particularly severe wave climate, but also by the rhythmic topography of the coastline which is caracterized by deep embayments and wide cusps connected in the nearshore with alternating bar/trough and shoal systems ("morphodynamic littoral cells": Cocco & Iuliano, 1999).

RIASSUNTO

Il monitoraggio della fascia costiera emersa (spiaggia + duna esterna) in sinistra Foce Sele per oltre 2,5 km ha evidenziato una evoluzione litoranea di "tipo erosivo" fortemente condizionata da eventi meteomarini particolarmente intensi e dalla presenza delle ondulazioni ritmiche della linea di riva (rientranze e cuspidi, *sand waves)* cui si associano, nella spiaggia sommersa, sistemi di barre/truogoli alternati a bassofondi ("celle morfodinamiche litoranee"; Cocco & Iuliano, 1999).

L'arretramento medio della linea di riva nel periodo esaminato è di 5 metri su una sezione media costiera di 30 metri, mentre il bilancio netto dei sedimenti è di poco inferiore a -28.000 m^3 (-10,7 m^3 per metro lineare di costa): di tale volume circa 23.500 m^3 risultano perduti a seguito delle mareggiate verificatesi tra novembre 1996 e gennaio 1997.

1. PREMESSA

In un precedente lavoro (Cocco & Iuliano, 1999) è stato delineato l'assetto morfosedimentologico, dinamico ed evolutivo dell'intero sistema litoranee (dai cordoni dunari alla spiaggia sommersa) in sinistra Foce Sele e proposto un progetto di difesa finalizzato alla riduzione dell'energia delle onde incidenti sulla costa, alla ricostituzione della spiaggia ed alla riqualificazione del sistema dunare.

In questa nota vengono illustrate, più dettagliatamente e compiutamente, le variazioni morfologiche e quantitative della spiaggia emersa e della duna esterna registrate nel corso delle campagne di rilievi topografici effettuate nel periodo novembre 1996 - novembre 1997.

2. IL MONITORAGGIO DELLA SPIAGGIA

Il settore in studio (Fig. 1), esteso per oltre 2,5 km lungo l'ala sinistra del F. Sele. presenta una spiaggia emersa di tipo sabbioso o sabbioso-ciottoloso ampia varie decine di metri, limitata verso l'interno da un cordone di dune vive fissato da una rada vegetazione erbacea e quindi da una serie di cordoni dunari rimboschiti (Pineta litoranea). L'andamento della linea di riva è caratterizzato da una successione continua di rientranze e lobi (*sand waves:* Dolan, 1971; Cocco, 1976) cui si associano, nella spiaggia sommersa, sistemi di barre/truogoli alternati a bassofondi ("celle morfodinamiche litoranee": Cocco & Iuliano, 1999).

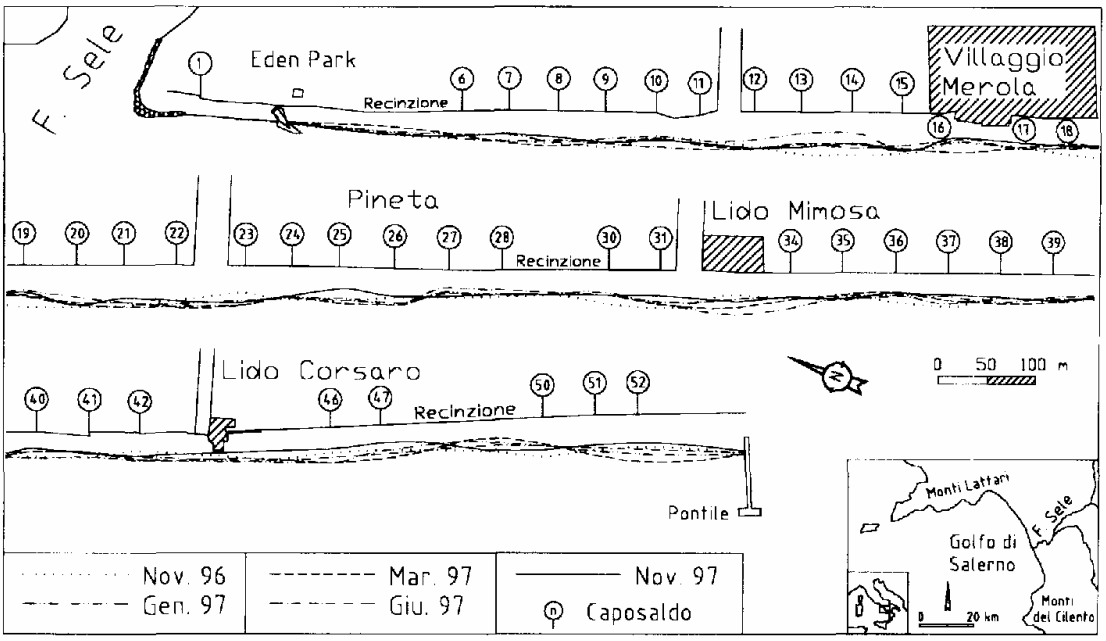


Fig. 1 - Ubicazione dell'area in studio con le sezioni di spiaggia monitorate. L'andamento delle linee di riva evidenzia a pieno le variazioni di fase delle "ondulazioni ritmiche" della costa *(sand waves)* nei vari periodi esaminati.

L'evoluzione morfologica della fascia costiera emersa è stata analizzata attraverso l'esecuzione di 40 sezioni topografiche ad interasse di circa 50 m attestate su caposaldi posizionati in corrispondenza della recinzione forestale (Fig. 1). Sono state eseguite in totale sei campagne nei mesi di novembre e dicembre 1996, gennaio, marzo, giugno e novembre 1997. Da rimarcare che la campagna di dicembre '96 ha interessato solamente 14 sezioni topografiche, in corrispondenza delle zone maggiormente colpite dalla mareggiata del 20/21 novembre e che in corrispondenza di 12 dei 52 c.s. posizionati originariamente non è stato possibile procedere alla ripetizione dei profili a causa della sistematica scomparsa dei caposaldi stessi provocata dalle continue mareggiate e dai lavori di ripristino delle infrastrutture turistiche (ci si riferisce in quest'ultimo caso ai c.s. 2.5 nell'area limitrofa alla foce del F. Sele).

2.1. Variazioni morfologiche e quantitative

Tra novembre '96 e marzo '97 sono stati registrati (Tab. 1 e Figg. 2, 3 e 4) forti arretramenti della linea di riva e del cordone dunare a fronte mare con formazione di scarpe di erosione, incise nei depositi di spiaggia interna o di duna, alte fin oltre 2 metri. Il ciglio della duna, arretrando, si è posizionato talvolta a tergo della recinzione forestale, la quale è rimasta "pensile" o è stata abbattuta.

Tab. 1 - Variazioni della linea di riva in corrispondenza delle sezioni di spiaggia (i valori negativi esprimono arretramento, quelli positivi avanzamento).

Sezione	Nov.96 Gen.97	Gen.97 Mar.97	Mar.97 Giu.97	Giu.97 Nov.97	Nov.96 Nov.97	Sezione	Nov.96 Gen.97	Gen.97 Mar.97	Mar.97 Giu.97	Giu.97 Nov.97	Nov.96 Nov.97
1	-0,9	-0,1	-2,5	-2,7	-6,2	25	-3,0	5,6	-3,5	-11,7	-12,6
6	-4,9	0,8	3,1	-2,6	-3,7	26	-1,8	9,0	-1,9	-6,9	-1,6
7	-6,4	8,4	-1,4	-8,0	-7,4	27	-6,6	1,6	-5,4	8,8	-1,5
8	-1,4	4,0	-6,3	-2,6	-6,3	28	-2,1	0,2	-5,8	4,7	-3,0
9	-9,1	3,5	1,9	-1,7	-5,4	30	-11,7	2,4	-0,1	-0,3	-9,7
10	-14,1	2,7	8,8	-7,0	-9,5	31	-3,9	0,3	-2,6	-6,4	-12,6
11	0,9	4,1	4,1	-6,4	2,7	34	4,5	-2,9	-2,3	-1,2	-1,9
12	-6,1	9,4	-0,3	-1,1	1,9	35	1,4	-2,1	5,8	-1,2	3,9
13	-21,3	9,9	1,0	2,8	-7,6	36	-7,7	-2,9	3,6	-2,8	-9,8
14	-22,7	11,4	4,0	-5,3	-12,5	37	-10,7	3,9	-6,5	0,6	-12,7
15	-4,2	-1,3	-2,8	5,2	-3,1	38	6,2	1,0	-5,4	-1,3	0,4
16	-0,6	1,0	-3,7	-1,8	-5,1	39	-5,1	6,0	-4,0	2,0	-1,0
17	0,3	-0,7	1,7	-6,3	-5,0	40	-5,3	-0,6	7,4	-10,5	-9,0
18	-5,8	-4,7	3,7	-1,9	-8,7	41	-5,6	0,0	4,9	-3,4	-4,1
19	-17,7	5,4	0,9	-4,1	-15,5	42	6,1	2,8	1,0	-5,4	4,4
20	-10,5	6,2	2,2	-0,2	-2,4	46	10,8	-0,1	-5,6	-8,7	-3,6
21	-2,2	-1,1	4,7	-9,5	-8,1	47	0,7	8,2	-4,9	-11,5	-7,5
22	4,8	4,1	-1,5	-5,3	2,1	50	-11,4	-2,5	2,9	4,5	-6,7
23	8,0	5,1	-0,8	-2,6	9,8	51	0,8	4,6	-7,9	-3,3	-5,9
24	-1,7	-0,9	1,4	-2,2	-3,5	52	1,0	0,9	-6,0	-6,6	-10,7

I fenomeni erosivi si esplicavano di norma in corrispondenza delle rientranze verso terra della linea di riva, in misura tanto maggiore quanto più profonda era la rientranza (ad es. sez. nn. 13, 14 e 50), mentre in corrispondenza dei lobi protesi verso mare le sezioni di spiaggia rimanevano pressoché inalterate (ad es. sez. nn. 11, 17 e 47).

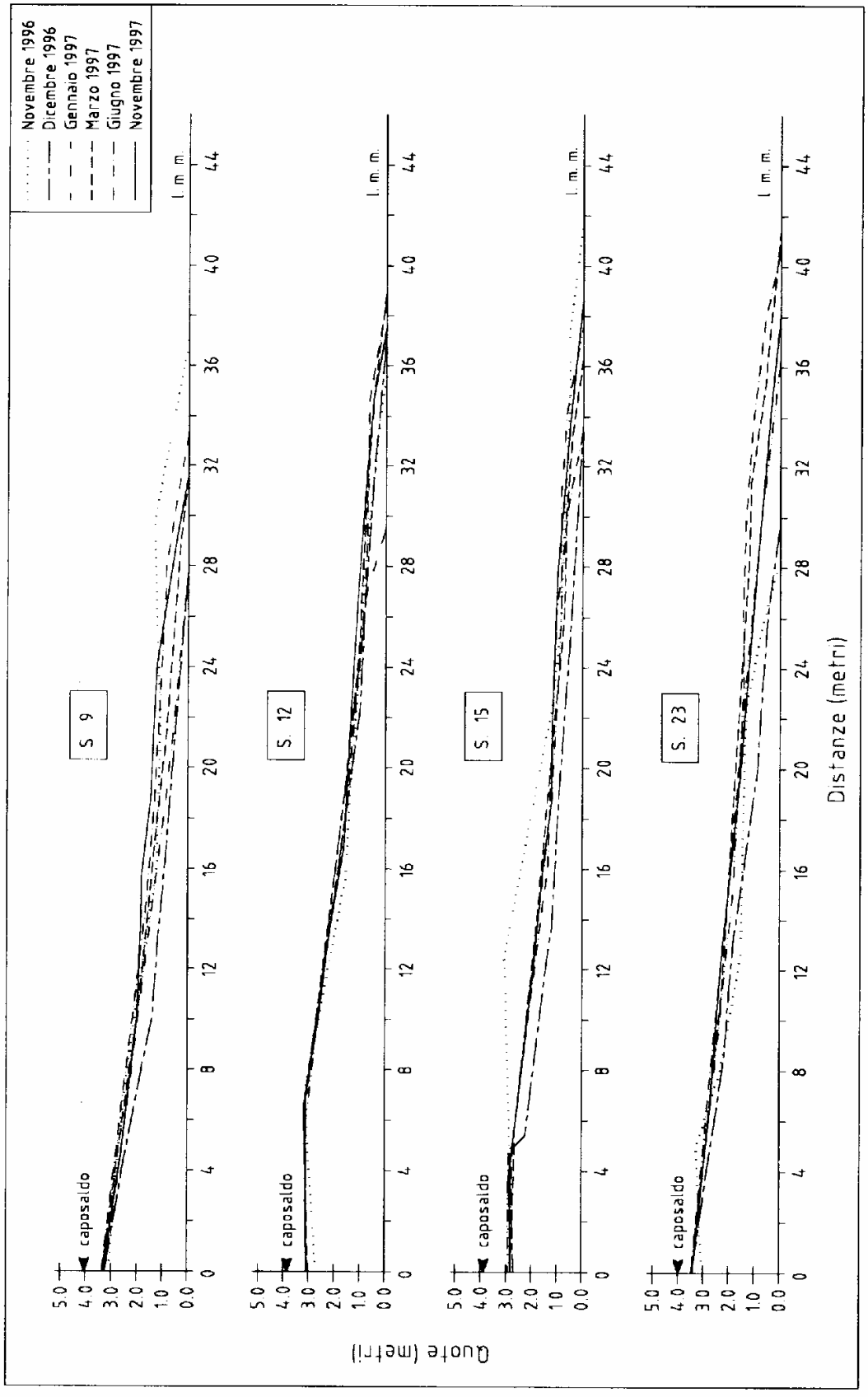


Fig. 2 - Variazioni morfologiche e quantitative della fascia costiera in corrispondenza delle sezioni topografiche 9, 12, 15 e 23.

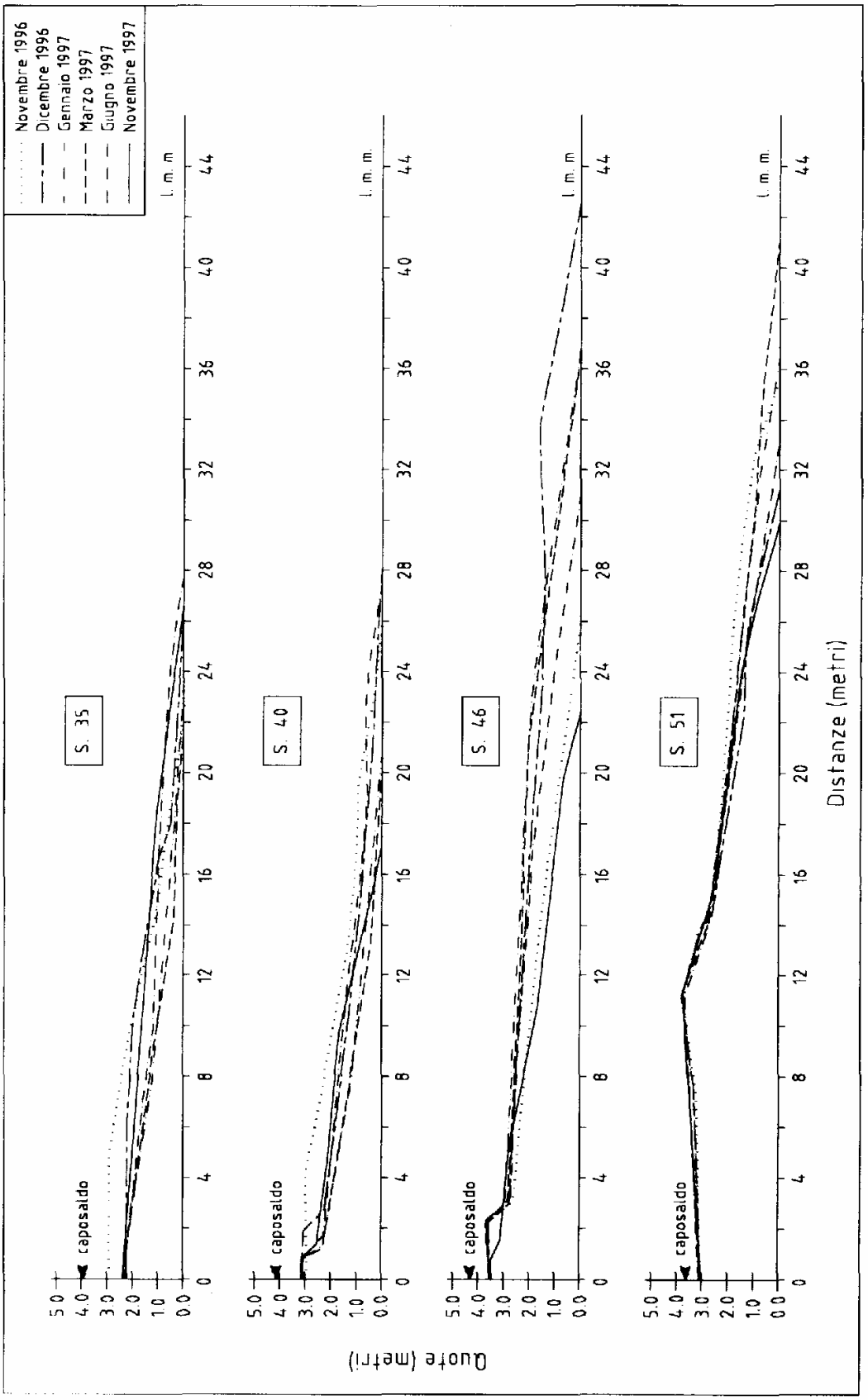


Fig. 3 - Variazioni morfologiche e quantitative della fascia costiera in corrispondenza delle sezioni topografiche 35, 40, 46 e 51.

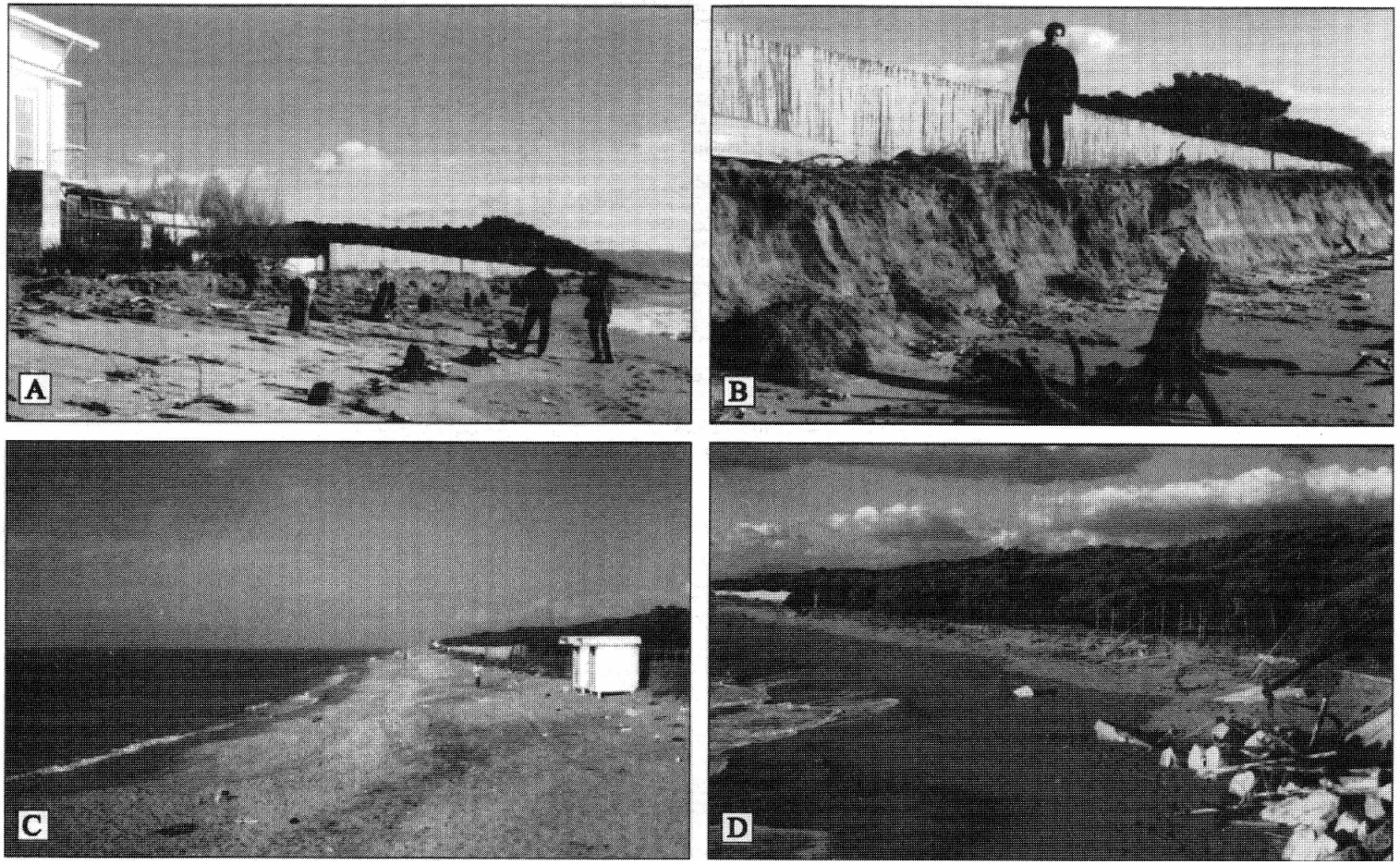


Fig. 4 - Foto A e B: panoramica della spiaggia di Villaggio Merola. Si può osservare la profonda rientranza della linea di riva (Foto A) e la scarpa di erosione nel cordone dunare a fronte mare dopo la mareggiata del 20/21 novembre '96 (Foto B). Evidenti inoltre i "relitti" della Pineta litoranea ivi esistente negli anni '70 (la costa è arretrata in questo punto di oltre 40 m).
Foto C e D: panoramica della spiaggia a NE di Lido Corsaro. La fascia costiera come si presentava (Foto C) prima che la violenta mareggiata del 20/21 novembre distruggesse parzialmente le strutture del Lido ed erodesse il cordone dunare abbattendo parte della recinzione forestale (Foto D).

Tra marzo e giugno ‘97 si assiste ad un riequilibrio diffuso attraverso l'avanzamento della linea di riva e la ricostituzione della spiaggia (Fig. 5), talvolta fino al ciglio della duna, che rimane però “stabilmente arretrato” (ad es. sez. n. 40): ciò è da correlare alla migrazione dei campi di *sand waves,* nel senso che, dove erano situate le rientranze della linea di riva nel periodo precedente, si posizionavano, nel periodo successivo, i lobi di protendimento (valga come esempio la sez. n. 46 di Fig. 3 e si confronti la Fig. 1).

Tra giugno e novembre '97 le caratteristiche evolutive risultano del tutto simili a quelle “invernali” con un ritorno generalizzato delle condizioni erosive. In particolare in corrispondenza delle sezioni nn. 25, 40 e 47 sono stati registrati valori di arretramento della linea di riva superiori a 10 metri.

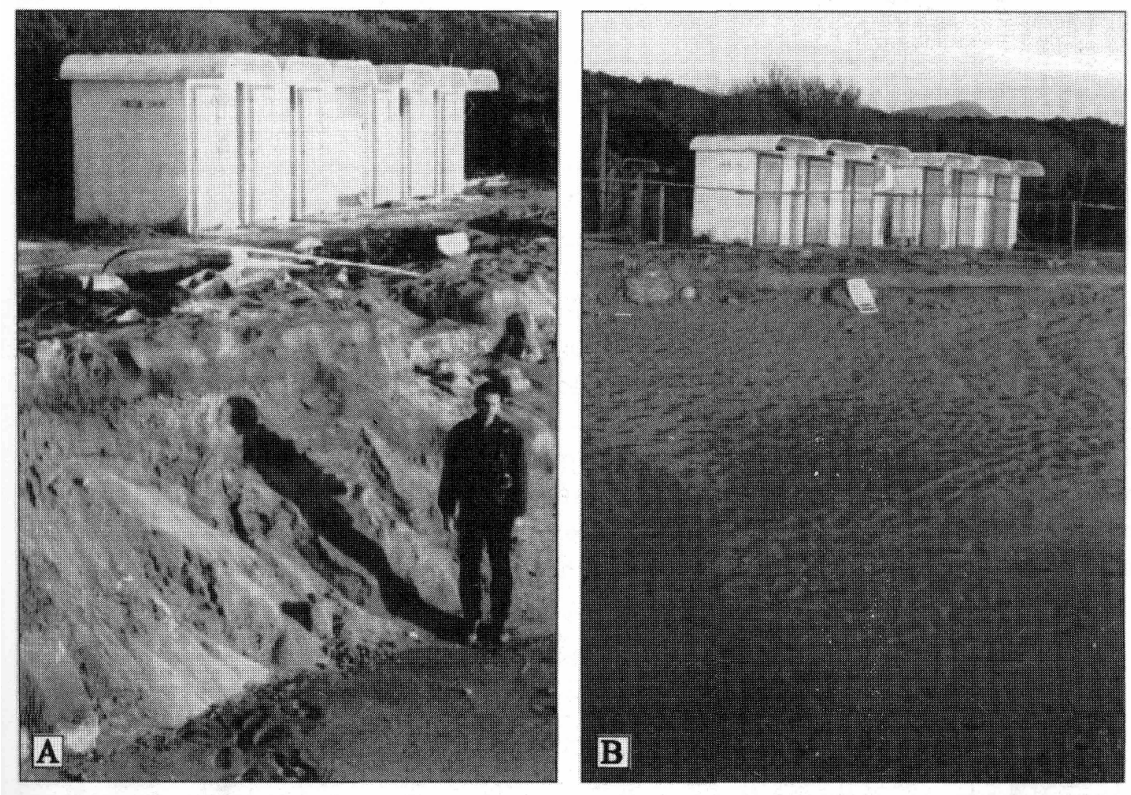


Fig. 5 - Lido Corsaro, lato SE. Ad una notevole erosione prodotta dalla mareggiata del novembre ‘96 (Foto A), fa seguito una completa ricostituzione della spiaggia nei mesi successivi (Foto B, marzo ‘97).

2.2. Il bilancio dei sedimenti

In accordo con CERC (1984) il bilancio netto dei sedimenti può essere determinato dalle variazioni (AQ), in termini di incremento (+) o decremento (-) dopo un dato periodo di tempo, di un volume iniziale di controllo (Q) compreso tra due sezioni consecutive del sistema spiaggia emersa/duna (“celle”) che ne costituiscono i limiti.

Tab. 2 - Variazioni di volume delle singole celle nei vari periodi di rilevamento e nell'intero periodo di monitoraggio: i valori negativi esprimono decremento, i positivi incremento. L'interasse tra le celle è di 50 metri ad eccezione delle celle n. 1 (266 m), 24 (108 m), 26 (132 m), 35 (193 m) e 37 (162 m).

	Nov.96/Gen.97		Gen.97/Mar.97		Mar.97/Giu.97		Giu.97/Nov.97		Nov.96/Nov.97	
Cella	Tot. mc	mc/ml	Tot. mc	mc/ml	Tot. mc	mc/ml	Tot. mc	mc/ml	Tot. mc	mc/ml
1 (sez. 1-6)	-2.443	-9,2	-259	-1,0	591	2,2	-889	-3,3	-3.000	-11,3
2 (6-7)	-348	-7,2	417	8,6	-163	-3,4	-348	-7,2	-443	-9,2
3 (7-8)	65	1,3	485	9,7	-396	-7,9	-426	-8,5	-273	-5,5
4 (8-9)	-182	-3,8	192	4,1	66	1,4	-185	-3,9	-108	-2,3
5 (9-10)	-945	-18,2	129	2,5	525	10,1	-188	-3,6	-478	-9,2
6 (10-11)	-333	-7,5	116	2,6	276	6,3	-237	-5,4	-178	-4,0
7 (11-12)	157	3,1	318	6,2	-47	-0,9	-87	-1,7	341	6,7
8 (12-13)	-722	-14,0	506	9,8	14	0,3	200	3,9	-2	0,0
9 (13-14)	-1.713	-33,0	670	12,9	55	1,1	225	4,3	-762	-14,7
10 (14-15)	-1.292	-25,4	258	5,1	-18	-0,4	153	3,0	-900	-17,7
11 (15-16)	-459	-7,4	-141	-2,3	-127	-2,1	58	0,9	-668	-10,8
12 (16-17)	-54	-0,9	-222	-3,8	82	1,4	-243	-4,2	-437	-7,5
13 (17-18)	-347	-7,0	-368	-7,4	279	5,6	-85	-1,7	-521	-10,5
14 (18-19)	-1.424	-26,3	-59	-1,1	215	4,0	-68	-1,3	-1.336	-24,7
15 (19-20)	-1.324	-24,6	278	5,2	304	5,6	-455	-8,5	-1.197	-22,2
16 (20-21)	-281	-5,2	-567	-10,4	949	17,4	-589	-10,8	-487	-8,9
17 (21-22)	322	6,1	-431	-8,1	596	11,2	-421	-7,9	66	1,3
18 (22-23)	623	11,6	439	8,2	-15	-0,3	-422	-7,9	626	11,6
19 (23-24)	-61	-1,1	246	4,6	144	2,7	-408	-7,6	-79	-1,5
20 (24-25)	-660	-12,9	115	2,2	-79	-1,5	-504	-9,8	-1.128	-22,0
21 (25-26)	-535	-9,5	382	6,8	6	0,1	-814	-14,4	-961	-17,0
22 (26-27)	-475	-8,6	378	6,9	-70	-1,3	-173	-3,2	-341	-6,2
23 (27-28)	-669	-12,5	43	0,8	-377	-7,0	351	6,5	-651	-12,1
24 (28-30)	-1.794	-16,6	-114	-1,1	-309	-2,9	219	2,0	-1.998	-18,4
25 (30-31)	-817	-15,5	8	0,1	61	1,1	-379	-7,2	-1.128	-21,3
26 (31-34)	-282	-2,1	-57	-0,4	526	4,0	-1.284	-9,7	-1.097	-8,3
27 (34-35)	-196	-3,7	-78	-1,5	429	8,1	-51	-1,0	103	2,0
28 (35-36)	-949	-17,6	-189	-3,5	390	7,3	171	3,2	-576	-10,7
29 (36-37)	-1.032	-19,4	-258	-4,8	-32	-0,6	134	2,5	-1.188	-22,4
30 (37-38)	-346	-6,4	-189	-3,5	-226	-4,2	18	0,3	-743	-13,8
31 (38-39)	82	1,5	115	2,1	-202	-3,7	135	2,5	130	2,4
32 (39-40)	-577	-10,5	139	2,5	222	4,0	15	0,3	-201	-3,7
33 (40-41)	-818	-15,2	-118	-2,2	588	10,9	-246	-4,6	-594	-11,1
34 (41-42)	-231	-4,6	28	0,6	235	4,6	-264	-5,2	-233	-4,6
35 (42-46)	3.192	16,6	86	0,4	-1.291	-6,7	-2.368	-12,3	-381	-2,0
36 (46-47)	-320	-5,9	-554	-10,2	266	4,9	-467	-8,6	-1.075	-19,7
37 (47-50)	-5.398	-33,4	-1.921	-11,9	2.040	12,6	672	4,2	-4.608	-28,5
38 (50-51)	-772	-14,5	-106	-2,0	-145	-2,7	191	3,6	-831	-15,6
39 (51-52)	-193	-4,4	188	4,2	-309	-6,9	-224	-5,0	-539	-12,1
Totali	-23.553	-8,89	-94	-0,04	5.052	1,91	-9.283	-3,50	-27.878	-10,70

Per l'area in esame è stato possibile calcolare (Tab. 2 e Fig. 6), sia relativamente ai periodi intercorsi tra le varie campagne di rilievi sia relativamente all'intero periodo considerato, l'incremento e il decremento del volume dei sedimenti di 39 "celle" ad interasse di circa 50 m, fatta eccezione per quelle celle dove, a causa della scomparsa di alcuni caposaldi, come detto precedentemente, l'interasse è risultato compreso tra 108 e 266 metri (celle nn. 1, 24, 26, 35 e 37).

Per quanto attiene ai singoli periodi di rilevamento, tra novembre '96 e gennaio '97 si registrano in assoluto i più alti decrementi: 33 m^3 per metro lineare di costa per le celle nn. 9 e 37 e oltre 25 m^3 per le celle nn. 10 e 14. Il bilancio netto è di poco superiore a

-23.500 m^3, quasi -9 m^3 per metro lineare di costa. Si ricorda che in questo periodo sono state registrate due violente mareggiate di cui una, il 20/21 novembre, a carattere distruttivo.

Nel periodo gennaio/marzo '97 il bilancio è praticamente in pareggio (-94 m^3 pari a -0,04 m^3 per m lineare di costa), a marcare una diffusa tendenza al recupero (ad es. 13 m^3 per metro lineare per la cella n. 9 e 5 m^3 per la cella n. 10), che si esplica chiaramente nel periodo successivo, tra marzo e giugno '97, con un incremento totale di 5.000 m^3 (circa 2 m^3 per m lineare). Le celle con gli incrementi più alti risultano la n. 16, con oltre 17 m^3 e la n. 37, con oltre 12 m^3 per m lineare.

Tra giugno e novembre '97 si registra di nuovo un decremento totale di oltre 9.000 m^3 (-3,5 m^3 per m lineare di costa). Le celle caratterizzate dai valori più alti sono la n. 21, con oltre -14 m^3, la n. 35, con oltre -12 m^3 e la n. 16, con oltre -10 m^3 per m lineare di costa.

Per l'intero periodo di monitoraggio (novembre '96/novembre '97, Fig. 6) il bilancio netto per l'intero settore in esame è di poco inferiore a -28.000 m^3, pari a -10,7 m^3 per metro lineare di costa. Le celle caratterizzate dai decrementi più alti (tra 15 e 28 m^3 per m lineare) corrispondono alle celle 9-10 e 14-15 (Villaggio Merola), a 20-21, 24-25 e 29 (Lido Mimosa) e a 36...38 (a SE di Lido Corsaro). La cella caratterizzata da maggiore incremento è la 18 (a SE di Villaggio Merola), con oltre 11 m^3 per m lineare di costa. Per le celle 9-10 è stato possibile calcolare anche il volume perduto dalla duna, che è risultato pari a 3,5 m^3 per metro lineare di costa.

Dall'analisi delle Figg. 6 e 7 A si può osservare che le celle caratterizzate da incremento o da decremento non sono disposte casualmente ma vanno a costituire raggruppamenti più o meno ampi che si alternano con una sorta di ritmicità; inoltre nell'ambito dei vari gruppi è possibile osservare la presenza di massimi e di minimi relativi.

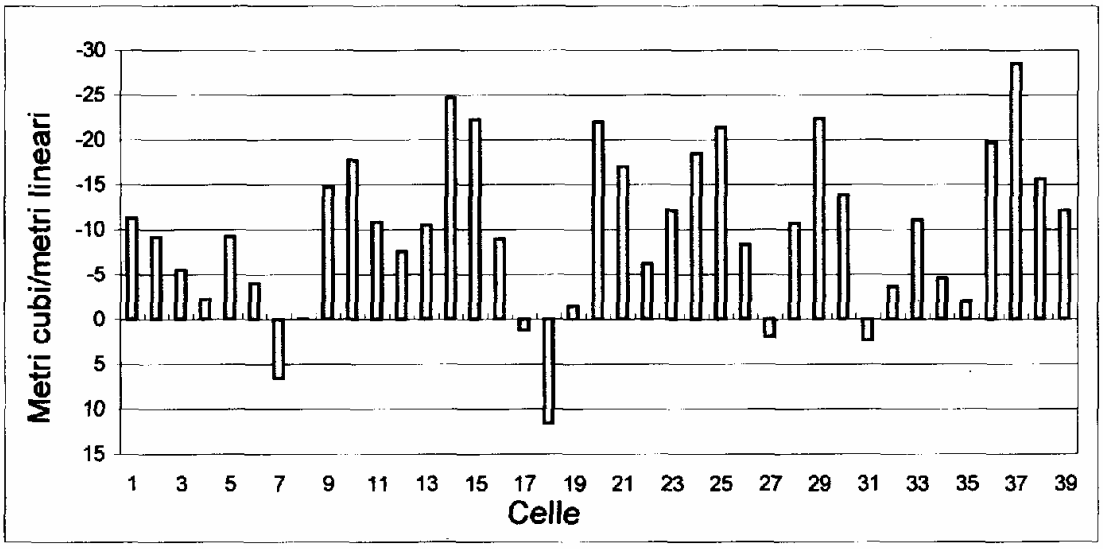


Fig. 6 - Variazioni di volume delle singole celle (per metro lineare di costa) nell'intero periodo di monitoraggio. I valori negativi esprimono decremento, i positivi incremento.

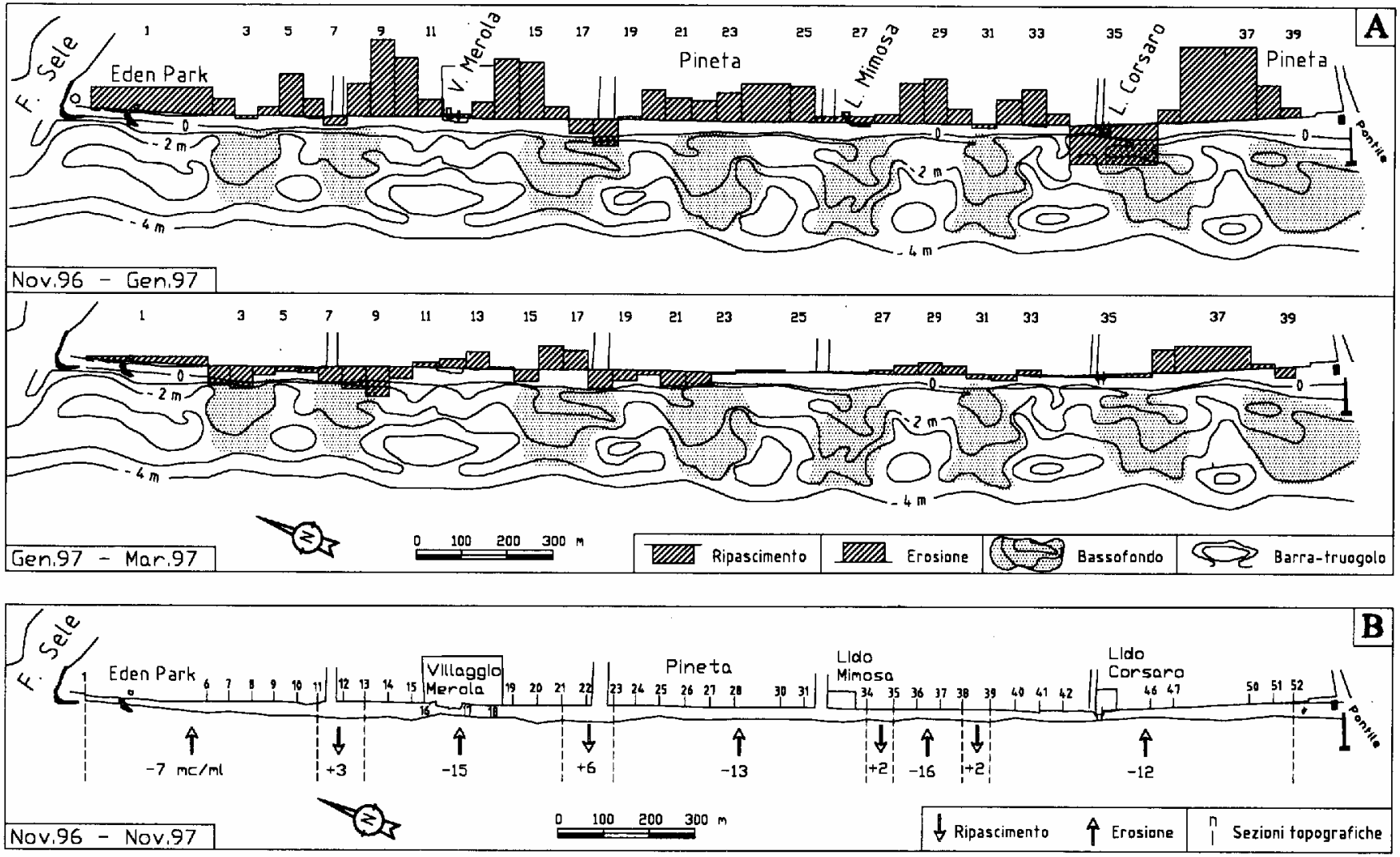


Fig. 7 - A. Variazioni di volume (espresse in m^3 per metro lineare di costa: i valori negativi indicano decremento) delle singole celle nei periodi novembre '96/gennaio '97 e gennaio 97/marzo '97, in relazione alla topografia ritmica della riva e dei fondali sottocosta.
B. Carta dell'evoluzione della fascia costiera in esame nel periodo di monitoraggio.

Questa ritmicità può essere correlata proprio alla topografia della spiaggia considerando che (Fig. 7 A), almeno per i periodi compresi tra novembre '96 e marzo '97, durante i quali è stato eseguito sia il rilievo della linea di riva che dei fondali sottocosta, le celle che presentano decremento, specialmente in corrispondenza dei massimi relativi (ad es. celle nn. 1, 24-25 e 37) vanno a coincidere quasi perfettamente con le rientranze della linea di riva e relativi sistemi di barre/truogoli associati mentre le celle che presentano incremento (ad es. celle nn. 7, 18 e 35), congiuntamente a quelle che presentano minimi relativi di decremento (ad es. celle nn. 26 e 27), vanno a coincidere quasi perfettamente con i lobi di protendimento e relativi basso fondi associati.

3. CONCLUSIONI

Il monitoraggio della fascia costiera emersa (spiaggia + duna esterna) in sinistra Foce Scie, nell'arco temporale di un anno (novembre '96/novembre '97), ha evidenziato una evoluzione di "tipo erosivo" (Fig. 7 B) con un arretramento medio della linea di riva pari a 5 m su una sezione di spiaggia ampia mediamente 30 m. Il bilancio netto dei sedimenti è di poco inferiore a -28.000 m^3 (-10,7 m^3 per metro lineare di costa): di tale volume circa 23.500 m^3 risultano perduti a seguito delle mareggiate verificatesi tra novembre 1996 e gennaio 1997.

Si ricorda (Cocco & Iuliano, 1999) che l'arretramento medio del settore nel periodo 1978/97 è di 1,1 m/anno, mentre il bilancio netto dei sedimenti nel periodo 1982/96 è pari a -70.000 m^3 (-2 m^3 per metro lineare di costa per anno).

L'evoluzione litoranea risulta fortemente condizionata, oltre che dal clima ondoso particolarmente avverso, anche dalla topografia ritmica della costa, configurata da profonde rientranze e protesi lobi *("sand waves")* cui si associano, nella spiaggia sommersa sistemi di barre/truogoli alternati a bassofondi ("celle morfodinamiche litoranee": Cocco & Iuliano, 1999): proprio in corrispondenza delle rientranze sono stati registrati i fenomeni erosivi più marcati. La relazione tra "campi di *sand waves*", rifrazione delle onde sottocosta ed erosione accentuata della spiaggia era già stata messa in evidenza per il litorale metapontino nel Golfo di Taranto (Cocco, 1976; Cocco *et al.,* 1988). Anche Dolan *et al.* (1979) hanno mostrato la presenza, lungo la costa tra Capo Hatteras e Capo Lookout in North Carolina, di "picchi di energia" in corrispondenza di ondulazioni della linea di riva associate alle correnti di ritorno ed alle barre crescenti. Komar (1998), infine, conferma che la topografia ritmica della costa condiziona la rifrazione delle onde nella zona prossima alla riva, causando una esaltazione dei fenomeni erosivi durante le tempeste.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Amministrazione Provinciale di Salerno, Assessorato Agricoltura e Foreste, per aver acconsentito alla utilizzazione dei dati rilevati tra novembre 1996 e marzo 1997 nell'ambito della convenzione di studio sulla "erosione della Pineta litoranea di Paestum".

Il monitoraggio è stato completato con altri fondi di ricerca.

BIBLIOGRAFIA

Coastal Engineering Research Center (CERC) 1984. Shore Protection Manual. U:S. Army, Corps. and Engineers, Washington D.C., 3 Vol.

Cocco E. 1976. Forme costiere ritmiche "sand waves" lungo il litorale Alto Ionico (Golfo di Taranto). *Boll. Soc. Geol. It.,* 94: 861-869.

Cocco E., De Pippo T., De Lauro M. & Monda C. 1988. Focus erosivi sul litorale metapontino (Golfo di Taranto). *Mem. Soc. Geol. It.,* 41: 703-709.

Cocco E. & Iuliano S. 1999. L'erosione del litorale in sinistra Foce Scie (Golfo di Salerno): dinamica evolutiva e proposte di intervento a difesa e tutela della spiaggia e della pineta litoranea di Paestum. *Il Quaternario,* 12 (2): 5-19.

Dolan R. 1971. Coastal landform crescentic and rhythmic. *Bull. Geol. Soc. Am.,* 82: 177- 180.

Dolan R., Hayden B. & Feeder W. 1979. Shoreline periodicities and edge waves. *Journal of Geology,* 87: 175-185.

Komar P.D. 1998. Beach processes and sedimentation. 2a Ed. Prentice Hall, N.J., 544 p.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 167-181, luglio 2000

CARATTERI E CRONOLOGIA DELLA DERIVA DEL BLOCCO SARDO-CORSO

Francesco FANUCCI, Danilo MORELLI

Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine - Trieste

ABSTRACT

The kinematics of the Sardinian-Corsican Block drifting has discussed through a new set of data, results from ECORS-CROP crustal seismic profiles, recorded in the North-Western Mediterranean Basin, and other geological and geophysical data.

The ECORS-CROP profile point out that this sector of Mediterranean is characterised by a highly reduced "oceanic" lithosphere whose structure appears diversified proceeding from western to eastern sectors.

The opening process occurred in three different phases:

- initial rifting in the eastern sector of the Pirenaic chain;
- detachment of the Block and rotation-translation toward SE, mainly concerning Sardinia;
- second drifting with a rotation-translation toward E and NE. Corsica moves mainly during the last drifting phase.

The drifting stages results active until the Early Langhian as confirmed by recent paleomagnetic studies.

The following phase concerns a slow sinking of the basin, while only the Sardinian margin results affected, starting from Pliocene, by a tectonic activity.

This kinematics model justifies the geodynamical setting of the area, according with crustal characters of Basin and with tectogenesis of Northern Apennines.

RIASSUNTO

Nuovi dati ricavati dall'interpretazione dei profili CROP-ECORS forniscono una più chiara definizione delle strutture crostali dei bacini sardo-balearico e ligure-provenzale. L'assetto dei bacini e altri dati geologici e geofisici impongono dei vincoli alle modalità di apertura dei bacini stessi e alla cinematica del Blocco sardo-corso.

L'apertura del bacino viene ricostruita in tre fasi che comportano diverse direzioni di rototraslazione del Blocco sardo-corso e giustificano anche il limitato moto differenziale tra le due Isole, responsabile dell'apertura del Golfo dell'Asinara.

Viene discussa inoltre la complessa evoluzione post-apertura dei Bacini e dei loro margini e la dinamica della deriva del Blocco nell'ottica di inquadramento dei fenomeni in un contesto geodinamico comprendente tanto la genesi ed evoluzione del Bacino che delle Catene circostanti.

1. INTRODUZIONE

La deriva verso E del blocco Sardo-Corso, nel lasso di tempo tra l'Oligocene superiore e il Miocene inferiore, è un fatto acquisito per gli studiosi che si occupano di geodinamica del Mediterraneo occidentale e costituisce un caposaldo di tutte le ricostruzioni sull'evoluzione geologica della regione

Le modalità di tale processo sono state però a lungo dibattute tra gli anni '60 e '80 (Fig. 1) e vengono rimesse attualmente in discussione da nuove serie di dati riguardanti la struttura ed evoluzione del Bacino compreso tra il Golfo del Leone e la Sardegna e l'età del vulcanismo sardo che si ritiene connesso alla deriva stessa. I dati strutturali e sismostratigrafici derivano da un profilo crostale eseguito nell'ambito del progetto italo-francese CROP-ECORS e dalla reinterpretazione di altri dati geofisici già esistenti.

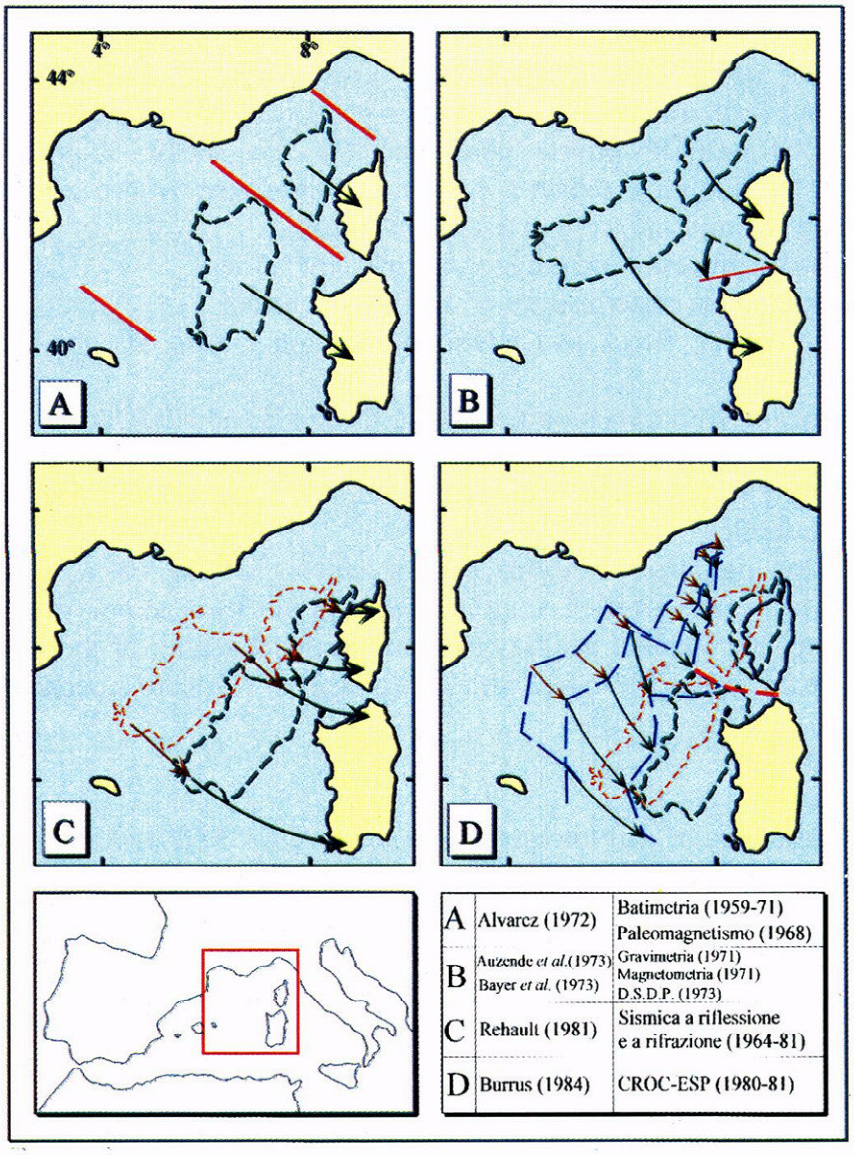


Fig. 1 - Vari modelli proposti di cinematica del Blocco Sardo-corso.

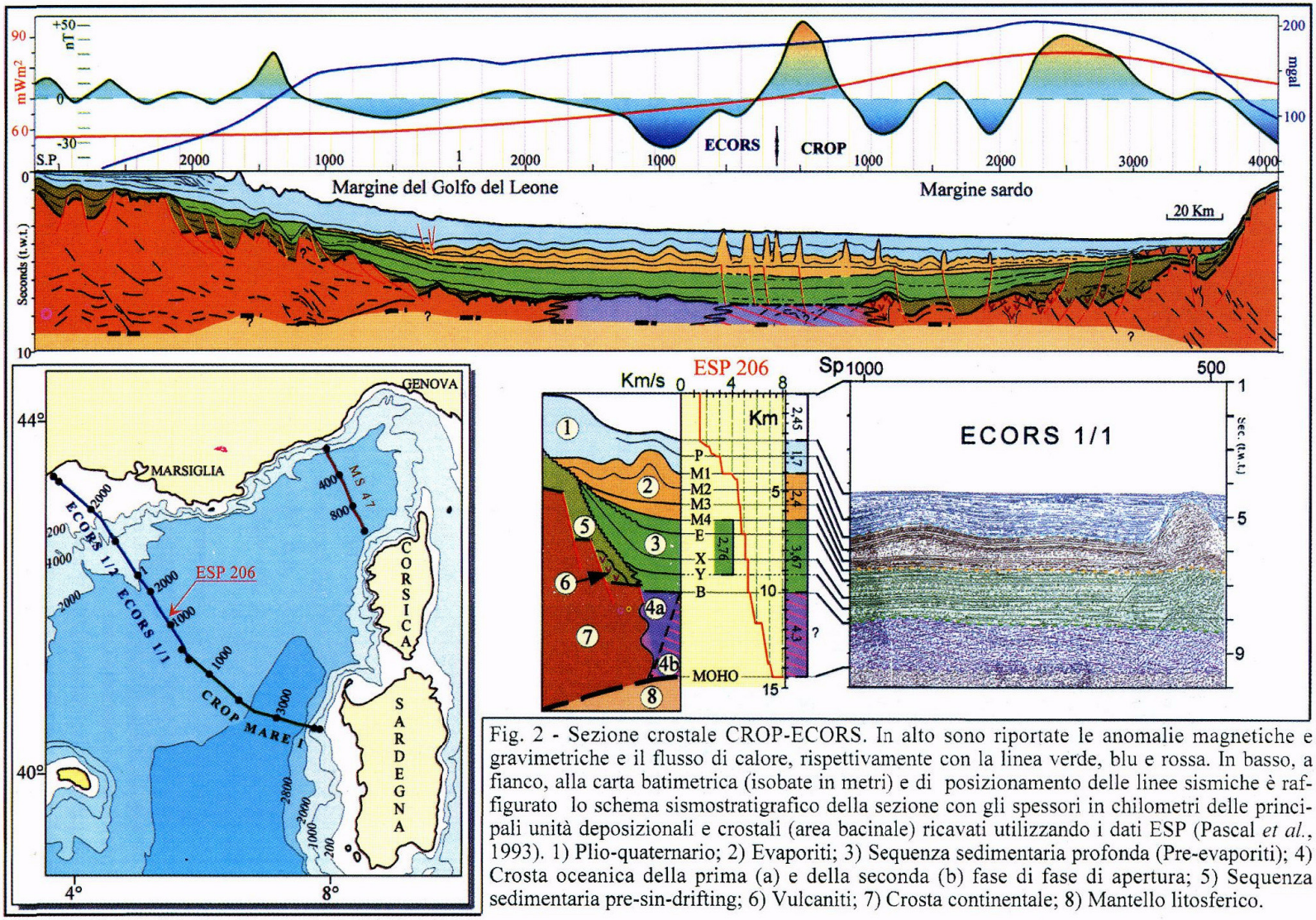


Fig. 2 - Sezione crostale CROP-ECORS. In alto sono riportate le anomalie magnetiche e gravimetriche e il flusso di calore, rispettivamente con la linea verde, blu e rossa. In basso, a fianco, alla carta batimetrica (isobate in metri) e di posizionamento delle linee sismiche è raffigurato lo schema sismostratigrafico della sezione con gli spessori in chilometri delle principali unità deposizionali e crostali (area bacinale) ricavati utilizzando i dati ESP (Pascal *et al.*, 1993). 1) Plio-quaternario; 2) Evaporiti; 3) Sequenza sedimentaria profonda (Pre-evaporiti); 4) Crosta oceanica della prima (a) e della seconda (b) fase di fase di apertura; 5) Sequenza sedimentaria pre-sin-drifting; 6) Vulcaniti; 7) Crosta continentale; 8) Mantello litosferico.

2. IL PROFILO CROP-ECORS

Esso collega la piattaforma interna al Golfo del Leone con la piattaforma della Murra correndo mediamente in senso NW-SE (Fig. 2) Nella parte francese la qualità del dato è ottima, grazie al processing della ELF Aquitaine, ma soprattutto grazie alla scarsa movimentazione della copertura sedimentaria. Al contrario, la parte italiana è disturbata da grandi e frequenti diapiri salini, che si manifestano bruscamente in corrispondenza di una discontinuità del substrato (Figg. 2/4).

I risultati meno attesi che il profilo ha fornito sono:

- ampiezza insospettata di entrambi i margini, ma soprattutto di quello sardo;
- la loro asimmetria strutturale originaria, determinata da faglie dirette listriche a basso angolo immergenti a SW su entrambi i lati del Bacino;
- la loro asimmetria evolutiva manifestala soprattutto da uno sprofondamento del margine sardo tardivo rispetto al margine opposto;
- la presenza di un settore a crosta "oceanica" molto ristretto rispetto a quanto ammesso in precedenza diversificato morfologicamente in due parti e spostato rispetto all'attuale depocentro del Bacino.

Facendo ricorso anche dati di sismica a rifrazione (Figg. 2, 3 e 4), il basamento del Bacino risulta di quattro tipi di crosta:

- crosta continentale a strutturazione complessa tagliata da faglie dirette durante l'apertura del bacino (Golfo del Leone) o anche in fasi successive con faglie a orientamento diverso (margine sardo, Fig. 4);
- crosta continentale estremamente assottigliata per il gioco di faglie dirette a basso angolo. Ricopre un'estensione notevole, soprattutto sul lato orientale del Bacino;
- crosta di tipo oceanico, sul lato del Golfo del Leone, con densità piuttosto elevata, senza tracce di anomalie magnetiche particolari, ne di centri di spreading (Fig. 3);
- crosta di tipo dubbio compresa tra il tipo precedente e le estreme propaggini del margine sardo. Difficilmente osservabile a riflessione, poiché situata nella zona di massimo diapirismo, detta crosta è internamente strutturata e a densità intermedia tra quelle delle zone tra cui è interposta. Verosimilmente si tratta di crosta continentale molto assottigliata e intrusa, come indica anche una vivace anomalia magnetica (Figg. 3, 4 e 5).

La copertura sedimentaria, che raggiunge una potenza massima di circa 4 sec. al piede della Scarpata del Golfo del Leone, è suddivisa acusticamente in quattro sequenze:

- la sequenza sin-rift: assume, sul lato francese, caratteri "classici", mentre sul lato sardo si presenta più potente e con vulcaniti, del tutto simile alla sequenza che colma, a terra, la cosiddetta Fossa Sarda;
- la sequenza bacinale pre-messiniana si deposita inizialmente al piede del margine francese, per estendersi poi ai settori di crosta "oceanica" e trasgredire successivamente sui margini. Una contrazione dell'arca di deposizione sembra essersi verificata prima dell'inizio del Messiniano;
- la sequenza che caratterizza quest'ultimo è dominata dalla presenza delle Evaporiti i cui livelli sono nuovamente trasgressivi sui margini. Il livello salino raggiunge potenze

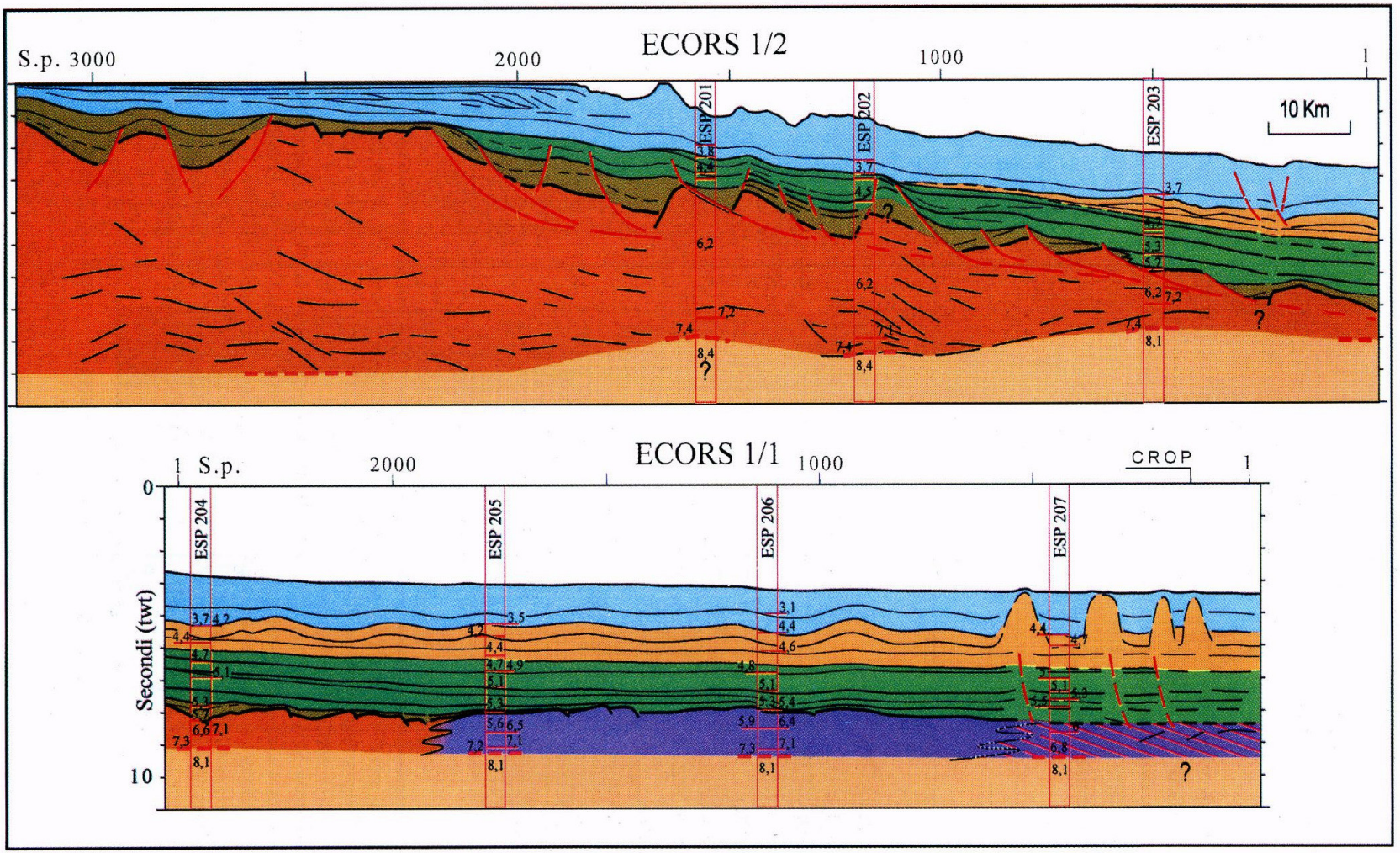


Fig. 3 - Sezioni crostali ricavate dall'interpretazione dei profili ECORS 1/1 e1/2, con valori di velocità di propagazione delle onde sismiche rilevate dalle registrazioni ESP (Pascal *et al.*, 1993). Per la simbologia vedi leggenda in figura 2.

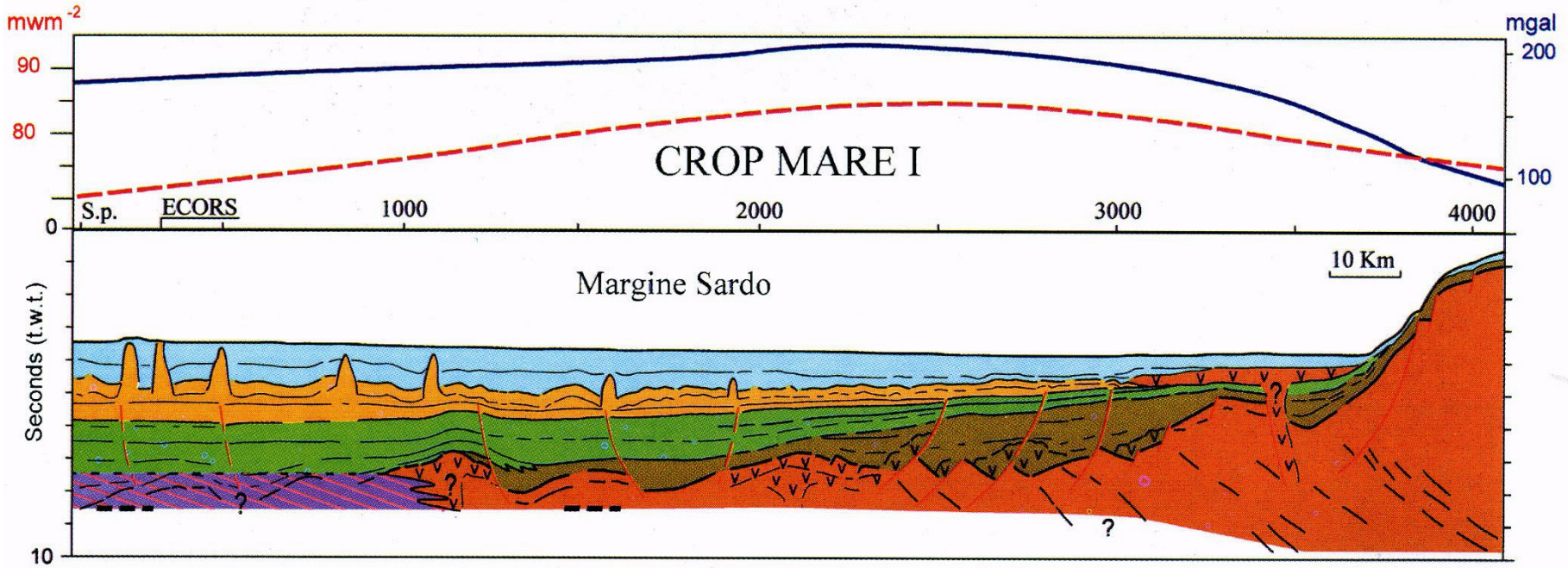


Fig. 4 - Sezione crostale ricavata dall'interpretazione del profilo CROP MARE I.
In alto sono riportati i valori delle anomalie gravimetriche (ad aria libera) e il flusso di calore (Burrus, 1984). Per la simbologia vedi leggenda in figura 2.

elevate al centro del bacino, mostrando comportamenti differenziati: solo le parti che sovrastano la zona crostate a caratteri intermedi e il margine sardo sviluppano veri diapiri. Questi hanno spesso uno sviluppo cilindrico ad asse orizzontale, tanto da meritarsi l'appellativo di "muri di sale";

- la sequenza plio-pleistocenica è dominata dagli apporti del Rodano, il cui deep-sea fan si estende ben oltre il centro del Bacino

Tutta la serie bacinale è, su gran parte del margine sardo, condensata, a riprova che esso ha subito una subsidenza tardiva, dovuta anche alla fase di distensione ed assottigliamento crostale plio-quatemaria, che ha dato fenomeni effusivi (Fig. 4) del tutto analoghi alle manifestazioni basaltiche conosciute a terra. Il massimo assottigliamento litosferico (desumibile dalle anomalie gravimetriche) e il massimo flusso di calore (Figg. 2 e 4) si trovano oggi ubicati in quest'area.

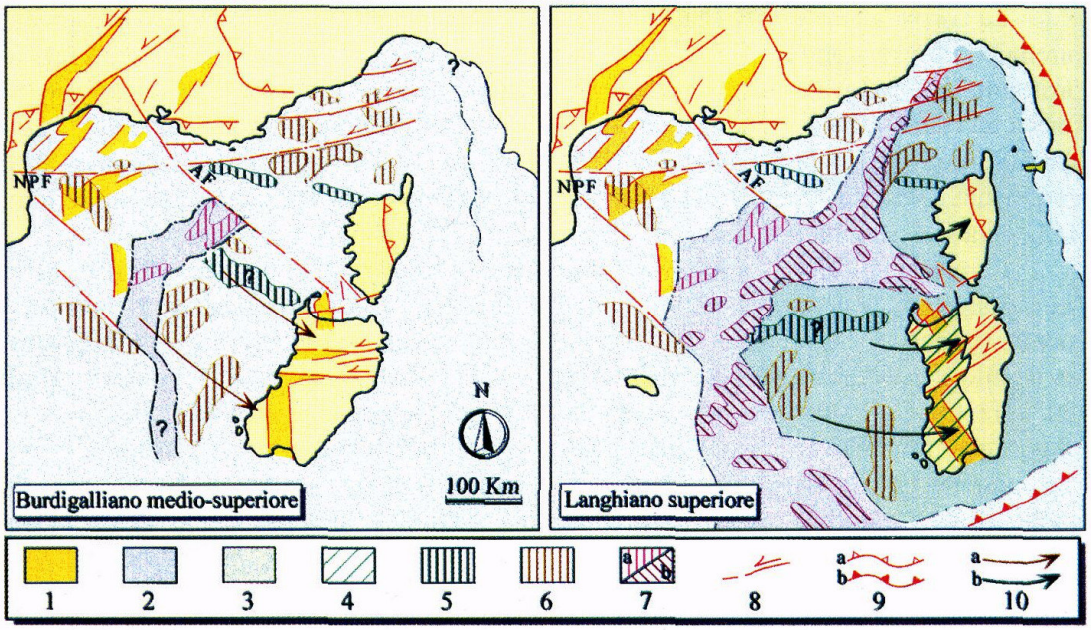


Fig. 5 - Cinematica del Blocco sardo-corso e meccanismi di apertura del Bacino nelle due distinte fasi di drifting. Allo sketch cinematico è sovrapposta l'interpretazione delle anomalie magnetiche (da Burrus, 1984, modificato). I) Depressioni tettoniche continentali riferibili alla fase di lifting; 2) Area a crosta oceanica; 3) Estensione del Blocco sardo-corso; 4) Graben sardo; 5) Trend magnetici continentali (pre-apertura); 6) Maggiori Anomalie magnetichene (>200 γ), generate da corpi vulcanici e intrusivi su crosta continentale; 7) Anomalie magnetiche positive (0-80 γ) su crosta oceanica, generate da corpi magmatici (basalti?) riferibili alla prima (a) e seconda (b) fase di drifting; 8) Faglie trascorrenti e trasformanti; 10) Fronti tettonici "alpini" (a) e neogenici (b); 11) Direzione di deriva del Blocco durante la prima (a) e seconda fase (b); NPF) Faglia Nord-pirenaica; AF) Arlesian Fault.

3. INTERPRETAZIONE DELLE NUOVE ACQUISIZIONI E MODELLIZZAZIONE DEL SISTEMA

Il modello di genesi ed evoluzione del Bacino che scaturisce da queste premesse prende in considerazione più fasi distinte non solo come schematizzazioni utili alla comprensione della dinamica del sistema, ma come reali momenti di modificazione del sistema stesso, causati da processi distinti (Fig. 6)

Va premesso che, antecedentemente ai fenomeni di cui si tratta, il blocco Sardo-Corso era parte integrante del Blocco Iberico, il cui margine settentrionale era stato deformato nel corso dell'orogenesi Pirenaica. L'area del Golfo del Leone era occupata da un settore dell'erogene, con la parte nord-vergente ben sviluppata e limitata a S dalla faglia nord-pirenaica e vicarianti (NPF; vedi Fig. 5).

La prima fase di rifting interessa le zone più interne del Golfo e le sue attuali piane costiere; non determina forti assottigliamenti crostali e, come geometria delle strutture è distinta dalle fasi successive, nei confronti delle quali svolge un ruolo "preparatorio".

La seconda fase di rifting è segnata dal riattivarsi delle strutture di accavallamento pirenaico in inversione tettonica; anche la parte sud vergente della catena è strutturata in profondità in modo tale da favorire il trasporto tettonico verso S in caso di inversione. Si forma una serie di half graben che evolvono rapidamente a giudicare dalla esiguità degli spessori delle serie sedimentarie sin-rift (Fig. 6a). I processi magmatici non sono veramente coevi, ma posteriori alle fasi di rifting. 11 processo è inquadrabile nei termini della genesi di tipici margini passivi "non vulcanici" (Boillot & Coulon, 1998)

Le principali faglie dirette a basso angolo si raccordano ad una superficie di delaminazione principale coincidente con la Moho o molto prossima ad essa. Il funzionamento di questa detachment fault fa si che il blocco Sardo si separi dall'Europa, derivando verso SE, mentre si forma una parte del substrato bacinale per denudamento del LID (mantello litosferico) subcontinentale, accompagnato da fusioni parziali di importanza limitata (Fig. 6b). Questa prima fase di drifting deve essersi esaurita molto rapidamente poiché è estremamente esiguo lo spessore dei sedimenti che l'accompagnano. Essa comporta principalmente una deriva della Sardegna verso SE con una limitata rotazione e scarso coinvolgimento della Corsica, situata in prossimità del polo di rotazione. Il moto differenziale tra le due parti del Blocco determina una discontinuità crostate a livello dell'attuale Golfo dell'Asinata.

Un nuovo processo di assottigliamento litosferico e distensione si attiva subito dopo sovraimponendosi al margine sardo, le cui parti più occidentali, a crosta continentale già assottigliata subiscono una ulteriore "oceanizzazione" accompagnata da magmatismo e subsidenza (Fig. 6c). Il processo interessa in ugual misura tutto il Blocco determi-nandone la migrazione verso E.

Ulteriori, imponenti fenomeni di assottigliamento litosferico e magmatismo alcalino interesseranno poi il margine occidentale del Blocco nel Plio-Pleistocene, contem-poraneamente alla distensione tirrenica che determinerà l'assetto dei margini orientali (Fig. 6d).

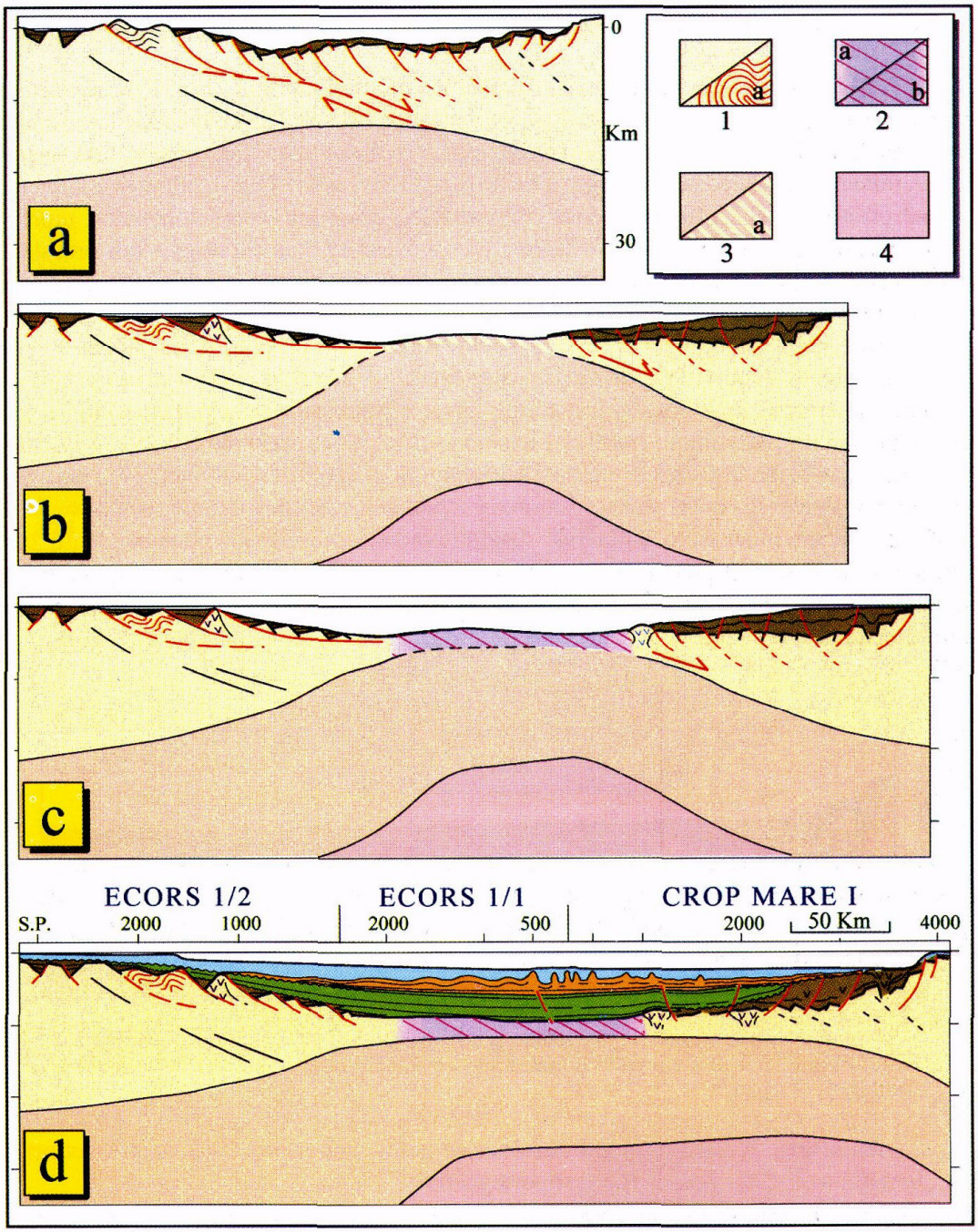


Fig. 6 - Sketch cinematico della sezione litosferica attraversata dai profili CROP ed ECORS.
a) Rifting (fino all'Aquitaniano); b) Prima fase di Drifting (fino al Burdigalliano medio-superiore); c) Seconda fase di Drifting (fino al Langhiano); d) Effetti della tettonica plio-pleistocenica, attiva sul lato orientale (assetto attuale del Bacino). 1) Crosta continentale e porzione dell'orogene pirenaico (a); 2) Crosta oceanica della prima (a) e della seconda (b) fase di Drifting; 3) Mantello litosferico e sua porzione denudata (a); 4) Astenosfera. Per gli altri simboli vedi leggenda in figura 2.

4. CARATTERI DELLE ALTRE AREE DEL MEDITERRANEO OCCDENTALE ALLA LUCE DEI NUOVI DATI

Tra la Corsica e la Provenza la dissimetria dei due margini si inverte, nel senso che è il margine a oriente del Bacino ad essere meno esteso. Tuttavia anche la scarpata provenzale è abrupta e assume un caratteristico andamento curvilineo, che segue l'orientamento e la geometria degli accidenti nord-pirenaici. Questi ultimi, completamente obliterati nel Golfo del Leone, ricompaiono qui come condizionamenti morfostrutturali del margine. La zona bacinale a crosta oceanizzata è comunque più prossima al margine corso, ma di ampiezza estremamente ridotta. Il passaggio tra questa situazione e quella descritta sopra è relativamente brusco.

A N della congiungente Nizza-Punta Revellata si osserva un altro brusco cambiamento di geometria morfologico-strutturale: il margine corso ridiventa ampio, anche se a terminazione brusca; il margine ligure è ripidissimo e segue anch'esso il già detto andamento curvilineo; l'asse del bacino si orienta in direzione SW-NE e la zona oceanizzata assume la forma di un parallelogramma. Il profilo MS 47 (Fig. 7) mostra la situazione tipica di quest'ultimo settore e chiarisce che il margine corso è stato massicciamente interessato dalle fasi disgiuntive mio-plio-pleistoceneiche, tanto che l'inclusione nella piana bacinale di una parte di esso può essere interamente ascritta a detti processi e al conseguente seppellimento da parte della potente coltre sedimentaria plio-pleistocenica.

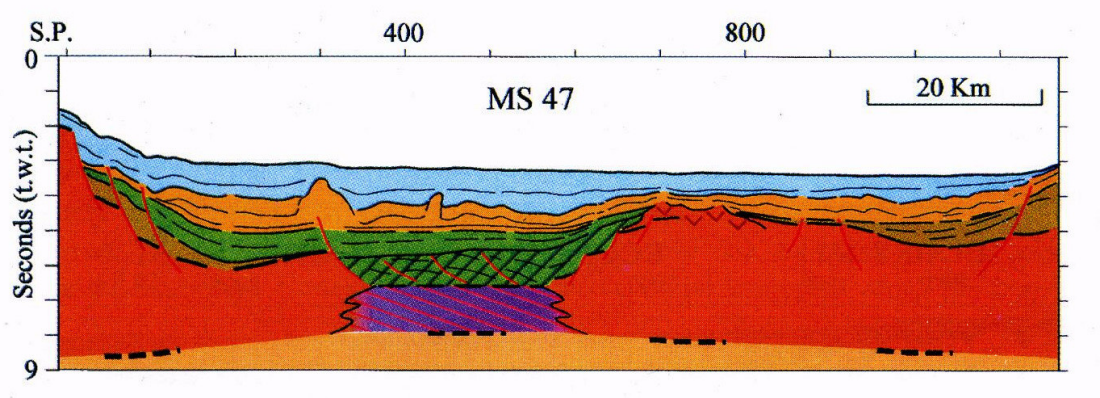


Fig. 7 - Profilo sismico MS 47. In tale settore la porzione basale dell'unità pre-evaporitica (linee oblique) risulta deformata a seguito di un evento tettonico post-apertura. Per l'ubicazione e la simbologia vedi figura 2.

In definitiva, il Mediterraneo nord-occidentale risulta costituito da tre settori a caratteristiche distinte i cui rapporti sono segnati da (Fig. 8):

- una evidente discontinuità di caratteri crostali tra settore sardo balearico e settore corso-provenzale. Al passaggio dalla rientranza del Golfo del Leone alla sporgenza della Provenza l'orogene pirenaico ricompare con la sua parte N-vergente; sul prolungamento della NPF (North Pyrenean Fault) si imposta la scarpata continentale. Il confine tra i due settori è materializzato dall'Arlesian Fault. All'altezza del Golfo dell'Asinara la Fossa

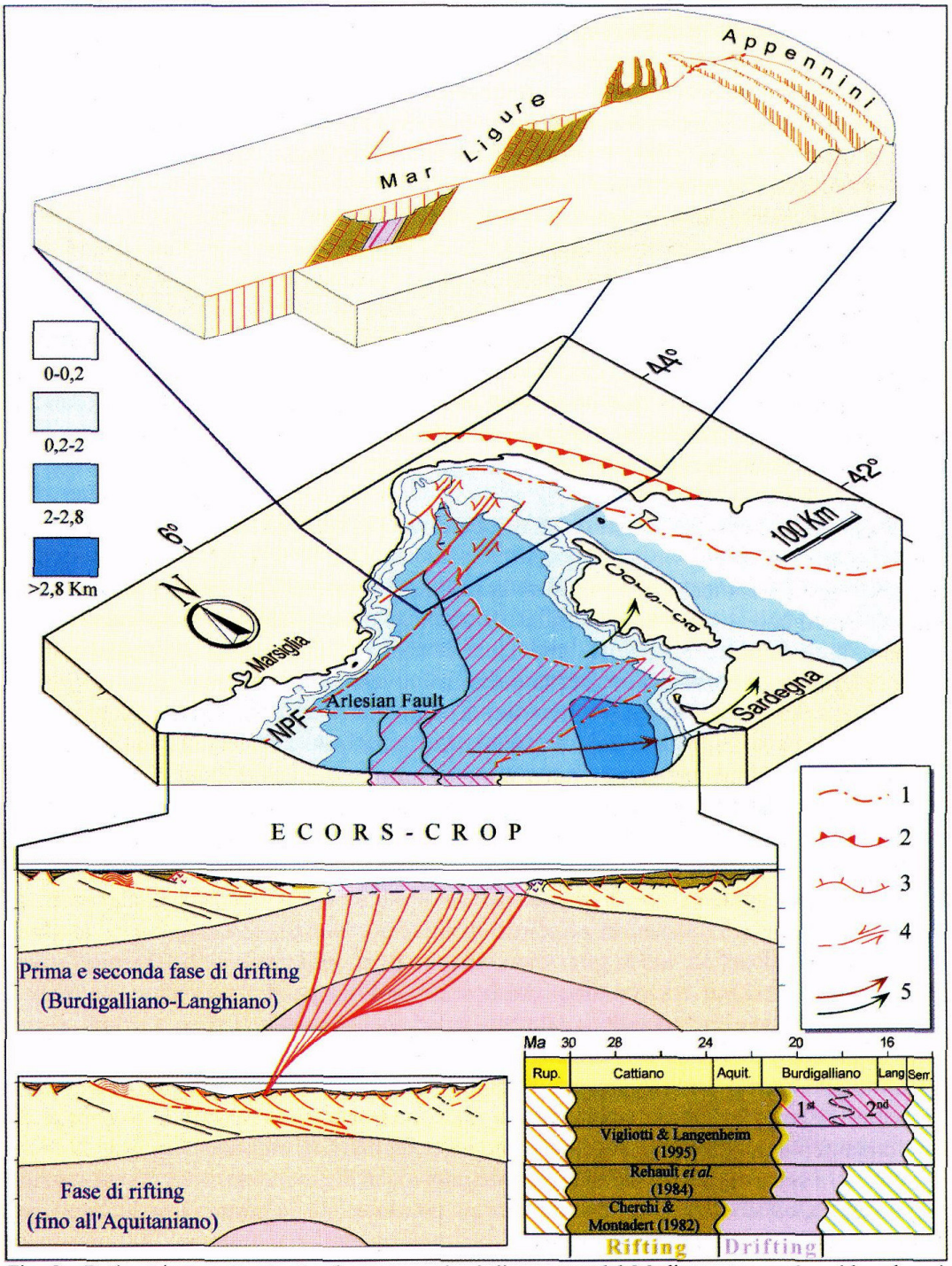


Fig. 8 - Batimetria, assetto strutturale e meccanismi di apertura del Mediterraneo nord-occidentale nei due distinti settori Ligure-provenzale e Sardo-balearico. In basso sono raffigurate la fase di rifting e le due di drifting del Bacino Sardo-balearico lungo i profili CROP-ECORS. In leggenda:1) Limiti attuali del Blocco corso-sardo; 2) Fronte tettonico; 3) Faglie dirette; 4) Faglie trascorrenti e trasformanti; 5) Direzione di deriva del Blocco durante la prima (marrone) e seconda fase (verde); NPF) Faglia Nord-pirenaica. Per gli altri simboli vedi leggenda in figura 6.

Sarda, depressione strutturale collegata ai processi in discussione, che interessa tutta la parte occidentale dell'Isola scompare, per lasciare spazio ad una apertura sfenoide con basalti coevi alla genesi del Bacino e, più a N, ad un margine corso estremamente ridotto. A centro bacino si assiste ad una traslazione verso E della crosta oceanica; in sostanza la discontinuità in esame può essere individuata come una faglia trasformante a N della quale le fasi di rifting e la prima fase di drifting hanno agito poco e in maniera differenziata rispetto alla zona a S.

- un cambiamento di orientamenti strutturali tra settore corso-provenzale e settore ligure, che si concretizza in un allineamento dei margini lungo il prolungamento della NPF e lungo sue vicarianti settentrionali. Il Bacino assume i caratteri geometrici di un Pull-apart Basin molto evoluto e l'area oceanizzata si amplia nuovamente dopo la strozzatura all'apice del settore precedente. Non si notano, al contrario di quanto si riscontra al limite meridionale, discontinuità rilevanti nei caratteri geofisici della crosta. L'assottigliamento crostate mio-pliocenico interessa anche questo settore, instaurandosi prevalentemente all'interno del margine corso. Si può cosi dimostrare che si è trattato di un nuovo fenomeno non più collegato con la genesi ed evoluzione del Bacino.

5. ESTENSIBILITIÀ DEL MODELLO PROPOSTO A TUTTA LA REGIONE

Un test fondamentale per saggiare la validità del modello evolutivo proposto per il settore sardo-baleatico e la possibilità di applicazione all'intero Bacino consiste nel tentare di giustificare su quella base i caratteri degli altri settori. Indubbiamente il Bacino ligure-provenzale ha una storia geologica diversa, dato che interagisce anche con l'orogene alpino. I suoi margini .settentrionali sono interessati estesamente dai bacini eo-oligocenici che si impostano dopo la fase alpina principale sulla catena neoformata. In tali bacini la sedimentazione si interrompe al termine dell'Oligocene o nel Miocene basale. I primi depositi riferibili ai nuovo Bacino si rinvengono sui fianchi del Canyon di Saint Tropez e risalgono all'Oligocene superiore. La loro ubicazione è una riprova della riattivazione delle linee legate alla NPF.

E' quindi evidente che le prime fasi di rifting si sono prodotte per cause e con modalità diverse nei due settori principali del Bacino. Nondimeno esse hanno prodotto un primo sia pur debole assottigliamento crostate e rimobilizzato quelle strutture su cui si imposterà la definitiva separazione del Blocco Sardo-Corso dall'Europa.

In questa ottica si può allora delineare lo schema che segue.

I processi di rifting e il drifting iniziale successivi alle fasi suddette interessano solo marginalmente l'area ligure-provenzale, che nondimeno si mobilizza, ma in misura inferiore rispetto al settore meridionale. Tale mobilità differenziale è sbloccata dal prolungamento dell'Arlesian Fault, che funge da faglia trasformante. Essa non da luogo ad una vera separazione tra Corsica e Sardegna poiché la creazione di un nuovo spazio è soprattutto a carico dell'estensione del margine sardo e solo in parte riguarda una deriva differenziale.

La seconda fase di drifting interessa in ugual misura tutto il Bacino dando luogo a:

I) ulteriore apertura di uno spazio oceanico nel Bacino Sardo-Balcarico e, in continuità, di uno spazio di analoghe caratteristiche del Bacino Provenzale;
II) variazione della direzione e verso di deriva della Sardegna da SE a E;
III) deriva della Corsica verso NE per riattivazione delle direttrici nord-pirenaiche e loro vicarianti con conseguente apertura del rombocasma ligure;
IV) massima fase di rotazione della Sardegna sia in termini assoluti che relativi alla Corsica e allo zoccolo balearico, con conseguente apertura o ulteriore definizione degli sfenocasmi dell'Asinara e sud-occidentale. E' proprio quest'ultimo che fornisce una preziosa riprova, in quanto la sua genesi non è giustificabile se non nei termini del presente schema.

6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I nuovi dati geofisici non contengono alcuna indicazione diretta sulla cronologia degli eventi. Tuttavia pare strano che, mentre la sequenza sedimentaria che comprende Miocene superiore e Plio-Pleistocene è molto potente e articolata in corpi distinti, quella sottostante sia relativamente assai poco potente e monotona, costituita da corpi semitrasparenti con poche stratificazioni acustiche. Sulle sue caratteristiche si possono impostare importanti considerazioni sull'assetto geografico e ambientale del Bacino prima dell'evento evaporitico, ma peraltro, resta il sospetto che la genesi del Bacino stesso non vada poi molto antedatata rispetto al Miocene medio. Come si vede dagli schemi riassuntivi riportati in figura 6 l'inizio delle fasi di drifting è stato progressivamente ringiovanito, cosi come la fine della deriva (Vigliotti & Langenheim, 1995; Fig. 8). Studi più recenti tendono a ridurre il lasso di tempo utile al fenomeno e soprattutto quello relativo alla maggior rotazione della Sardegna (Speranza *et al.,* 1999)

Si vuole sottolineare che il modello cinematico proposto è il solo in grado di rendere ragione di una rotazione molto rapida, che, nello scenario qui delineato, avviene prevalentemente nel corso del passaggio tra la prima e la seconda fase di deriva. Successivamente la deriva può essersi protratta anche per un periodo superiore a quello ammesso dagli ultimi Autori citati, senza produrre più alcuna rotazione apprezzabile a livello della Sardegna.

La cinematica descritta pone problemi più complessi di quelli degli schemi precedentemente proposti riguardo ai meccanismi geodinamici responsabili delle due fasi di deriva e della variazione di direzione di moto da una fase all'altra. Non esistono, allo stato attuale delle conoscenze, motivi per dubitare che la prima fase sia stata determinata dalla subduzione passiva di un lembo residuo di litosfera oceanica tetidea, accompagnato dai classici fenomeni di magmatismo calcalcalino.

Il modo più semplice per giustificare la seconda fase è allora quello di invocare un fenomeno di attivazione dell'astenosfera indotto in qualche modo dal fenomeno precedente, ma sviluppato in maniera autonoma, secondo direttrici di massimo assottigliamento duttile o di indebolimento fragile-duttile del LID (prodottosi prevalentemente sotto il margine sardo secondo il modello di Brun & Beslier (1996). Ciò avrebbe prodotto un processo di espansione crostale attiva, propagatesi verso N a causare la mag-

gior parte della deriva della Corsica e, conseguentemente, la formazione del rombocasma ligure, condizionato dagli svincoli di andamento nord-pirenaico. L'età dei basalti che potrebbero derivare da tale processo è proprio quella che ci si attenderebbe in funzione dell'età della variazione nella direzione di deriva (Rehault *et al.,* 1984). Non è necessario, in questo contesto, che ad oriente della Corsica vi sia uno spazio oceanico da consumare: è sufficiente che vi sia una zona di crosta relativamente sottile e mobilizzabile.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez W. 1972. Rotation of Corsica Sardinia microplate. *Nat. Phys. Se.,* 235: 103-105.

Auzende J.M., Bonnin J. & Olivet J.L. 1973. The origin of the Western Mediterranean basin. *Jour. Geol. Soc. London,* 129: 607-620.

Bayer R., Le Mouel J.L., & Le Pichon X. 1973. Magnetic anomaly pattern in the Western Mediterranean. *Earth and Pìanet. Se. Lett.,* 19: 168-176.

Boccaletti M., Calamità F., Centamore E., Deiana G. & Dramis F. 1983. The Umbria-Marche Apennine: an example of thrust an wrenching tectonics in a model of ensialic Neogenic-Quaternary deformation. *Boll. Soc. Geol. It.,* 102: 581-592.

Boillot G. & Coulon C 1998. La dechirure continentale et l'ouverture oceanique. *Gordon and Breach Science Publishers.*

Brun J. P. & Beslier M.-O. 1996. Mantle exhumation at passive margin. *Earth and Planetary Science Letters,* 142: 161-173.

Burrus J. 1984. Contribution to a geodynamical synthesis of the Provencal Basin (North Western Mediterranean). *Marine Geology, 55* (3/4): 247-259.

Burrus J. 1989. Review of geodinamic models for extensional basin; The paradox of stretching in the Gulf of Lions (Northwest Mediterranean). *Bolo. Soc. Géol. Fr.,* (8), 2: 377-393.

Cherchi A. & Montadert L. 1982. Oligo-Miocene rift of Sardinia and the early history of the western Mediterranean basins. *Nature,* 298: 736-739.

De Voogd B., Nicolich R., Olivet J.L., Fanucci F., Burrus J., Mauffrct A., Pascal G., Argnani A., Auzende J.M., Berriabini M., Bois C., Carmignani L., Fabbri A., Finetti L, Galdeano A., Gorini C.Y., Labaume P., Lajat D., Patriat P., Pinet B., Ravat J., Ricci Lucchi F., & Vernassa S. 1991. First dèep seismic reflection transect from the Gulf of Lions to Sardinia (ECORS-CROP profiles in Western Mediterranean). *Geodynamics, 22:* 265-274.

Della Vedova B., Lucazeau F., Pasquale V., Pellis G. & Verdoya M. 1992. Heat flow in the tectonic provinces crossed by the southern segment of the European Gcotraverse. *Tectonophysics,* 244: 57-74.

Diviacco P., Del Ben A., Pipan M. & Finetti I. R. 1997. Reprocessing avanzato di dati sismici CROP per lo studio crostale del Mar Ligure, Blocco sardo-corso ed Arcipelago Toscano. 76° *Convegno Nazionale del GNGTS.*

Fanucci F. 1986. Evolution stratigraphique de la région du Golfe de Genes depuis l'Eocène supérieur. *Mem. Soc. Geol. It.,* 36: 19-30.

Fanucci F. & Morelli D. 1994. Principali lineamenti strutturali ed evoluzione del Mar Ligure (Mediterraneo occidentale). *Atti XI Congresso A.I.O.L.:* 793-806.

Fanucci F. & Nicolich R. 1984. Il Mar Ligure: nuove acquisizioni sulla natura, genesi ed evoluzione di un "bacino marginale". *Mem. Soc. Geol. It.,* 27: 97-110.

Gorini C., Le Marrec A. & Mauffret A. 1993. Contribution to the structural and sedimentary history of the Gulf of Lions (Western Mediterranean), from the ECORS profiles, industrial seismic profiles and well data. *Bull. Soc. Geol. France,* 164: 353-363.

Laubscher H.P. 1988. The arcs of the Western Alps and the north Apennines: an update view. *Tectonophisics,* 146: 67-78.

Laubscher H.P., Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A. & Tobacco S. 1992. The collisional knot in Liguria. *Geologische Rundschau,* 81 (2):-275-289.

Le Douaran S., Burrus J. & Avedik F. 1984. Deep structure of the North Western Mediterranean basin: results of a two ships seismic survey. *Marine Geologv,* 55 (3/4): 325-346.

Morelli C., Giese P., Carezzo M.T., Reichert C., Colombi B., Guerra I., Hirn A., Letz A., Nicolich R., Prodehl C., Rower C., Sapin M., Sciarascia S. & Wigger P. 1977. Crustal structure of the northern Apennines, the Ligurian Sea and Corsica, derived from seismic and gravimetric data. *Boll. Geof. Teor. Appl.,* 75-76: 199-260.

Morelli D., Fanucci F. & Santini S. 1993. Struttura ed evoluzione del Mediterraneo occidentale: alcuni risultati del progetto ECORS-CROP. *Atti del XII Convegno Nazionale del G.N.G.T.S.:* 31-42.

Oggiano G., Funedda A. & Pasci S. 1995. Messa in evidenza di strutture trastensive cenozoiche nella Sardegna centro-settentrionale: possibili relazioni con l'Appennino settentrionale. *Riassunti del Convegno "Geodinamica tettonica attiva del Sistema Tirreno-Appennino"*: 196-198.

Pascal G.P., Mauffret A. & Patriat P. 1993. The ocean-continent boundary in the Gulf of Lion from analysis of expanding spread profiles and gravity modelling. *Geophys. J. Int.,* 113:701-726.

Rehault J.P. 1981. Evolution tectonique et sedimentaire du Bassin Ligure (Mediterranee Occidentale).*These d'Etat Univ. de Paris* VI: 138.

Rehault J.P., Boillot G. & Mauffret A. 1984. The Western Mediterranean Basin: geological evolution. *Mar. Geol.,* 55: 447-478.

Sapin M. & Hirn A. 1974. Results of explosion seismology in the southern Rhone Valley. *Annales de Geophisique,* 30: 181-202.

Speranza F., Cosentino D. & Villa I.M. 1999. Età della rotazione sardo-corsa: nuovi dati paleomagnetici e geocronologici. *Riassunti Convegno Geoitalia 1999,* 1: 299-301.

Vigliotti L. & Langenheim V.E. 1995. When did Sardinia stop rotating? New palaemagnetic results. *Terra Nova,* 7: 424-435.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 183-193, luglio 2000

ASSORBIMENTO, FLUORESCENZA E DOC DI ACQUE COSTIERE E DI ESTUARIO

Alfredo SERITTI, Daniela RUSSO, Luciano NANNICINI, Rossana DEL VECCHIO

C.N.R. - Istituto di Biofisica, Via S. Lorenzo, 26 - 56127 Pisa

ABSTRACT

Estuarine and coastal waters of a selected area of the Tyrrhenian Sea were analyzed for dissolved organic carbon (DOC), absorption and fluorescence properties. These data, together with the result of a comparison among the chromatograms of a riverine sample, a coastal one, and that of a solution of commercial humic acid (used as standard), show the occurrence of a CDOM (chromophoric dissolved organic matter) fluorescence photobleaching just in the first miles off the coast.

RIASSUNTO

Le acque costiere e di estuario di un'area del Mar Tirreno sono state analizzate per il carbonio organico disciolto (DOC), l'assorbimento e la fluorescenza. I dati ottenuti, insieme con il risultato di un confronto tra i cromatogrammi di un campione fluviale, di uno costiero e quello di una soluzione di acido umico commerciale (usato come standard), mostrano il verificarsi di un processo di fotodegradazione della CDOM (sostanza organica disciolta cromoforica) già nelle prime miglia al largo della costa.

1. INTRODUZIONE

Nell'ultimo decennio sono stati compiuti numerosi studi per comprendere il ciclo del carbonio organico nell'ambiente marino (Benner *et al,* 1992; Druffel *et al,* 1992; Hedges, 1992). Attualmente, in letteratura, sono disponibili informazioni, sebbene non definitive, sui principali processi che coinvolgono la distribuzione del carbonio organico negli ambienti acquatici (Mopper *et al,* 1991 ; Amon & Benner, 1994; Guo *et al.,* 1995; Hedges & Kiel, 1995; Miller & Zepp, 1995; Santschi *et al,* 1995). L'ambiente costiero rappresenta sicuramente un sito di accumulo e di rilascio di carbonio organico in mare, a causa sia dell'attività biologica autoctona sia degli apporti terrestri e fluviali. In questo contesto, il Mar Mediterraneo, data la sua particolare struttura geomorfologica, potrebbe essere preso a modello per comprendere i principali processi costieri, anche se gli studi sul ciclo del carbonio nelle acque mediterranee sono molto scarsi (Cauwet *et al,* 1990 e

1997; Copin-Montégut & Avril, 1993). Tra le varie tecniche usate per lo studio del carbonio nei sistemi acquatici, la misura delle proprietà di assorbimento e fluorescenza e la loro correlazione con il DOC si sono rivelate un valido strumento per avere informazioni sui processi chimici e fotochimici che avvengono nel sistema (Coble *et al.,* 1990; Chen & Bada, 1992; Mopper & Schultz, 1993; De Souza Sierra *et al.,* 1994; Coble, 1996). In un nostro precedente studio (Seritti *et al.,* 1997) è stata individuata la presenza di due principali gruppi di fluorofori nelle acque interstiziali di sedimenti del Mar Adriatico; inoltre, le correlazioni trovate tra le proprietà ottiche e il DOC hanno permesso di acquisire informazioni circa i processi di trasformazione della sostanza organica nei sedimenti.

In questo lavoro vengono descritti e discussi dati di DOC, assorbimento e fluorescenza di acque costiere e di estuario, raccolte alla foce del fiume Arno e lungo un tratto di costa del Mar Tirreno settentrionale.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area di studio

L'area di studio e le stazioni di campionamento sono riportate in figura 1. Quest'area è caratterizzata dalla foce del fiume Arno, che attraversa una zona tra le più densamente popolate d'Italia, e dal porto di Livorno. Il campionamento è stato eseguito nel mese di settembre 1997. I campioni sono stati filtrati a bordo (filtri a membrana Sartorius, porosità 0.22 μm) e conservati in bottiglie di vetro scuro a 4°C e al buio fino all'analisi (eseguita entro una settimana dal prelievo). Sono stati analizzati due gruppi di campioni: uno consisteva di 20 campioni raccolti ad una distanza di 1 miglio dalla costa, in un tratto di 18 miglia dalla foce del fiume Morto (Parco Naturale di Migliarino-S. Rossore) alla località di Quercianella; l'altro, invece, era costituito da 11 campioni raccolti, ogni 0.5 miglia, lungo un transetto che, partendo da 2 miglia all'interno dell'Arno, arrivava a 3.5 miglia al largo della costa.

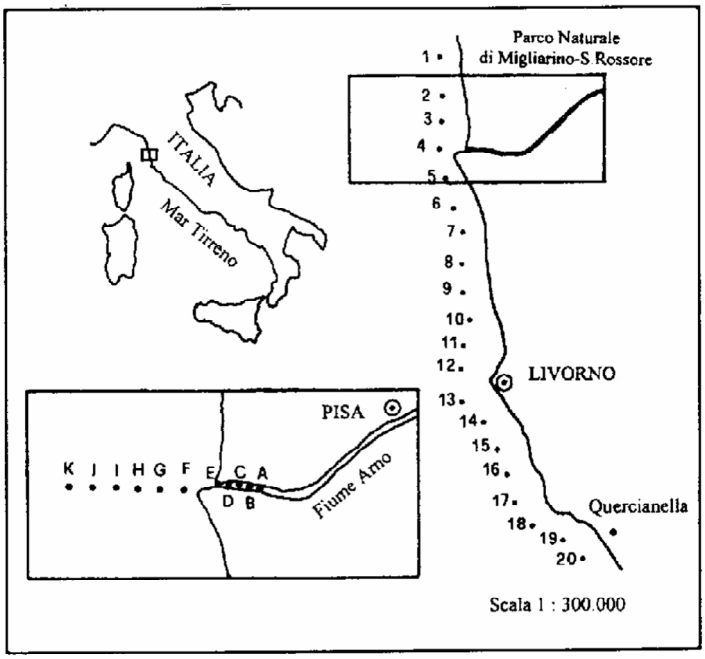


Fig. 1 – Area di studio e stazioni di campionamento.

2.2. DOC

Il DOC è stato misurato con l'analizzatore di TOC, Shimadzu 5000, gentilmente messo a disposizione dalla Società Solvay (Rosignano, LI). 4 mi di campione filtrato erano acidificati con 200 µl di H_3PO_4 al 10 % e gorgogliati con aria, per rimuovere il carbonio inorganico prima dell'ossidazione catalitica ad alta temperatura. Il valore del DOC di ciascun campione si otteneva dalla media di tre misure, effettuate con un CV fisso del 2 %. Il bianco era costituito da una soluzione di NaCl al 3 %. Soluzioni 0.5, l, 3 e 5 mg/l di ftalato acido di potassio venivano usate come standard per la curva di calibrazione.

2.3. Dati di irraggiamento solare

L'irraggiamento solare è stato misurato, attraverso sensori Eldonet, in tre canali ben definiti: UV-B (280-315 nm), UV-A (315-400 nm) e PAR (radiazione fotosinteticamente disponibile) (400-700 nm), in una stazione situata all'Istituto di Biofisica di Pisa (Häder *et al.,* 1999). La stazione fa parte del progetto European Light Dosimeter Network, contratto CE #ENV4-CT96-0191.

2.4. Proprietà ottiche

Assorbimento. Le misure di assorbimento sono state realizzate con uno spettrofotometro Jasco UV/VIS (mod. 7850) nell'intervallo 190-800 nm contro acqua Milli-Q, usando covette in quarzo da 5 cm. I dati sono stati espressi come coefficienti di assorbimento: $a_\lambda = 2.303 \cdot A_\lambda / l$ dove A_λ è l'assorbanza ad una data lunghezza d'onda ed 1 è il cammino ottico in metri. Sulla base di precedenti osservazioni (Scritti *et al,* 1994a, 1994b, 1996 e 1997), sono stati rilevati due gruppi principali di fluorofori misurando gli a_λ a 280 nm e 355 nm, rispettivamente. L'assorbimento specifico apparente a^*_λ è stato ricavato dalla relazione: $a^*_\lambda = a_\lambda / DOC$, dove il DOC è espresso in mg/l.

La pendenza degli spettri di assorbimento log-linearizzati, S, è stata calcolata in accordo a Green & Blough (1994), riportando il logaritmo naturale di a_λ verso λ secondo la relazione: $a_\lambda = a_{\lambda^\circ} e^{-S(\lambda - \lambda^\circ)}$. S è stato determinato nell'intervallo che va da 270 nm alla lunghezza d'onda (λ°) corrispondente al limite di rivelabilità strumentale (0.002 unità di assorbimento).

Fluorescenza. Le misure di fluorescenza sono state realizzate con uno spettrofluorimetro a luminescenza Perkin Elmer (mod. LS50B). Le finestre dei monocromatori di eccitazione e di emissione erano, rispettivamente, 3 nm e 10 nm. Sono state studiate due aree spettrali: la prima eccitata ad una lunghezza d'onda di 280 nm (λ_{ex}) e registrando l'emissione nell'intervallo 290-550 nm; la seconda eccitata a λ_{ex} di 355 nm con l'emissione registrata da 365 a 630 nm. Come bianco è stata usata acqua Milli-Q. Ogni spettro è stato corretto per la risposta strumentale, come indicato dal costruttore. I dati sono stati espressi come unità di fluorescenza normalizzata (N.Fl.U.) in accordo a Hoge *et al.* (1993): $F_{n(\lambda)}\ (N.Fl.\ U.) = [(F_{(s)}/R_{(s)})/(F_{(r)}/R_{(r)})]$, dove F e R sono la fluorescenza e il segnale Raman dell'acqua, del campione s e dello standard r. Come standard sono state usate: una soluzione 10^{-7} M di 2-amminopiridina in H_2SO_4 0.1 N per λ_{ex}=280 nm ed una soluzione di chininsolfato $1.275 \cdot 10^{-8}$ M in H_2SO_4 0.1 N per λ_{ex}=355

nm. I valori di $F_{n(355)}$ sono stati moltiplicati per un fattore 10, per poterli confrontare con quelli riportati in letteratura (Donard *et al,* 1989).

Rese Quantìche. Le rese quantiche Φ_λ per ciascun gruppo di fluorofori sono state calcolate secondo la seguente relazione: $\Phi_\lambda = \Phi^\circ_{(r)} \cdot [F_{(s)}/R_{(s)} - A_{(s)}]/[F_{(r)}/R_{(r)} - A_{(r)}]$, dove F e R sono le fluorescenza integrata e la banda Raman, ed A è l'assorbanza ad una data λ, per il campione s e lo standard r. La 2-amminopiridina è stata usata come standard per la fluorescenza eccitata a 280 nm ed il chininsolfato per quella eccitata a 355 nm. La letteratura riporta, come $\Phi^\circ_{(r)}$, i valori di 0.6 per la 2-amminopiridina (Rusakowicz & Testa, 1968) e 0.51 per il chininsolfato (Green & Blough, 1994).

Matrici di eccitazione-emissione (EEM). Sono stati registrati ventuno spettri di emissione a λ_{ex} che andavano da 270 nm a 470 nm, con passo di 10 nm. Per ciascuno spettro è stato scelto un intervallo di emissione di 250 nm, iniziando la scansione da λ_{ex}+10 nm. Come bianco è stata usata acqua Milli-Q. Ogni spettro, dopo sottrazione del bianco relativo, è stato corretto per la risposta strumentale.

2.5. Cromatografia per gel filtrazione

Misure di gel filtrazione sono state realizzate usando una colonna Hi-Load Superdex 30 (60x1.6 cm, Pharmacia), precedentemente calibrata, in una soluzione di NaCl al 30 %, con standards di peso molecolare costituiti da aprotinina (M_r 6,500), vitamina B12 (M_r 1.355) e tirosina (M_r 181.2). L'aldolasi (M_r 160,000) è stata usata per determinare il volume di esclusione della colonna. Il sistema cromatografico consisteva di una pompa a bassa pressione (Pharmacia P-50), una valvola di iniezione (Rheodyne mod. 7125), un rilevatore UV (Uvicord SD, Pharmacia, LKB) posto a 254 nm e un calcolatore integratore (Hewlett Packard mod. 3396) come registratore. Il volume di iniezione era di 1 ml. Il mezzo di eluizione era una soluzione di NaCl al 3 %, con flusso di 1 ml min^{-1} .

3. RISULTATI

Tab. 1 - Valori minimi, massimi e medi di DOC e parametri ottici delle stazioni oggetto di studio.

		DOC	a_{280}	a_{355}	a^*_{280}	a^*_{355}	S (x100)	F_{n280}	F_{n355}	F_{n280}/F_{n355}	Φ_{280} (x100)	Φ_{355} (x100)
stazioni costiere												
	min	0.89	0.95	0.14	0.86	0.13	1.25	0.02	0.50	0.03	0.05	0.33
	max	1.38	2.31	0.57	1.89	0.47	2.90	0.16	1.28	0.23	0.33	0.99
n=20	media	1.10	1.52	0.27	1.38	0.24	1.91	0.07	0.77	0.09	0.14	0.65
transetto e foce Arno												
area	min	3.35	16.80	4.10	4.48	1.07	1.66	1.46	22.39	0.07	0.54	1.10
fluviale	max	4.82	21.60	5.18	5.19	1.22	1.69	2.07	27.09	0.08	0.65	1.23
n=5	media	4.06	19.64	4.71	4.87	1.17	1.67	1.84	24.98	0.07	0.61	1.16
area	min	1.02	1.28	0.19	1.20	0.17	1.14	0.04	0.72	0.05	0.07	0.47
marina	max	1.19	2.43	0.57	2.26	0.47	2.56	0.11	1.16	0.10	0.14	0.84
n=6	media	1.10	1.76	0.33	1.59	0.30	1.71	0.07	0.87	0.08	0.11	0.64

3.1. DOC

Le concentrazioni di DOC nelle stazioni costiere variavano da 0.88 a 1.38 mg/l, con un valore medio di 1.1 mg/l (tabella 1). Non è stata osservata alcuna variazione significativa delle stazioni rispetto alla media, anche se le concentrazioni maggiori sono state trovate in corrispondenza dell'estuario dell'Arno e del porto di Livorno. Questi valori sono ben confrontabili con quelli riportati da Copin-Montégut & Avril (1993) e da Cauwet *et al.* (1990 e 1997) per altre aree del Mediterraneo e con quelli relativi ad altre zone del globo (Guo *et al.,* 1994; Chen *et al.,* 1996). L'andamento del DOC lungo il transetto nell'estuario mostra un sistematico e prevedibile decremento del DOC, passando dalle acque fluviali alla zona di mixing, e una diminuzione notevole al livello del mare. Queste basse concentrazioni di DOC potrebbero essere correlate ad un processo di fotodegradazione, al livello della superficie marina, indotto dalle condizioni estive di diffuso irraggiamento solare del periodo di campionamento.

3.2. Assorbimento

I coefficienti di assorbimento costieri a_{280} e a_{355} presentano valori medi di 1.52 m^{-1} e 0.27 m^{-1} rispettivamente, con valori massimi nelle aree marine influenzate dal fiume Arno e dal porto di Livorno. Un brusco decremento di entrambe gli a_λ è osservabile nella zona di mixing del transetto, situata alla foce del fiume Arno, come già notato per il DOC. Come ampiamente riportato in letteratura (De Haan & De Boer, 1987; Ferrari & Tassan, 1991), tra gli a_λ e il DOC (relativi a tutti i campioni analizzati) esiste una stretta correlazione, rappresentabile con le seguenti equazioni:

$a_{280}=5.972 \cdot DOC-4.920$ $\quad r^2=0.98$

$a_{355}=1.465 \cdot DOC-1.315$ $\quad r^2=0.98$

Un confronto dei valori medi di a_λ con quelli in letteratura può essere fatto solo per a_{355}, poiché non sono disponibili dati per a_{280} relativi ad acque costiere e di estuario. Gli a_{355} qui riportati sono ampiamente confrontabili con quelli di altre aree del mondo, così come il coefficiente angolare della relazione con il DOC (Hoge *et al.,* 1993; Green & Blough, 1994; Vodacek *et al.,* 1997). I valori costieri di S hanno un valore medio di 0.019 nm^{-1}, che è maggiore del valore medio (0.014 nm^{-1}) riportato in letteratura (Bricaud *et al,* 1981) per numerosi campioni di acqua marina. I valori di S nel transetto alla foce del fiume Arno mostrano un incremento con la distanza dalla costa, confermando così le osservazioni riportate da Vodacek *et al.* (1997), in cui veniva rilevato un aumento di S andando dalla costa al mare aperto.

3.3. Fluorescenza

I due gruppi di sostanza fluoroforica riconducibili a materiale proteico ($\lambda_{ex}=280$) e a sostanze umiche ($\lambda_{ex}=355$) presentavano valori di fluorescenza particolarmente bassi anche nelle zone di maggior apporto antropico. Le relazioni tra a_λ e $F_{n(\lambda)}$, ottenute considerando i dati di tutti i campioni analizzati, sono esprimibili con le seguenti equazioni:

$a_{280}=10.107 \cdot F_{n(280)}+0.885$ $\quad r^2=0.99$

$a_{355}=0.184 \cdot F_{n(355)}+0.127$ $\quad r^2=0.99$

La pendenza di a_{355} contro $F_{n(355)}$ è confrontabile con quelle riportate in letteratura (Hoge *et al,* 1993; Nieke *et al,* 1997). Quando l'andamento di a_{355} contro $F_{n(355)}$ è calcolato per i soli campioni costieri, la relazione, seppur lineare, presenta una pendenza molto minore. Ciò potrebbe essere legato o alla presenza di cromofori diversi nelle acque costiere rispetto a quelli di estuario o all'elevata dispersione dei valori, dovuta alle concentrazioni di CDOM molto basse nei campioni costieri. Il rapporto tra i due contributi alla fluorescenza $F_{n(280)}/F_{n(355)}$ varia tra 0.073 nelle acque fluviali e 0.089 nelle stazioni costiere, suggerendo una diminuzione relativa delle strutture umiche rispetto a quelle proteiche, passando dal fiume al mare. Comunque, occorre considerare, anche, che la fluorescenza "proteica" in acque fluviali e di estuario può essere dovuta, non solo al materiale proteico, ma anche a semplici composti fenolici derivanti dall'inquinamento antropico. I bassi valori delle rese quantiche Φ_{280} e Φ_{355} (tabella 1) suggeriscono una depressione della fluorescenza per unità di materiale assorbente nelle stazioni costiere. .Ad ogni modo, il decremento di Φ_{λ}. può essere dovuto anche all'elevata dispersione dei valori di assorbimento.

La figura 2 mostra le EEM di un campione fluviale e di uno marino. A parte le diverse scale dell'asse verticale, il confronto dei due diagrammi mostra chiaramente il diverso contributo alla fluorescenza della componente umica, rispetto a quella proteica, nei due campioni.

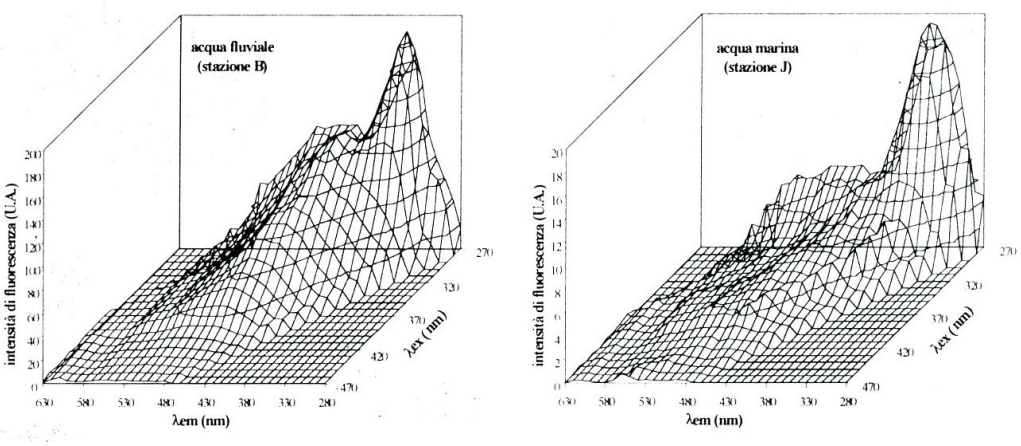


Fig. 2 - Rappresentazione 3D delle EHM di un campione fluviale e di uno costiero.

3.4. Comportamento cromatografico

Allo scopo di verificare come i dati di DOC e quelli dei parametri ottici potessero essere correlati, in una certa misura, al verificarsi di un processo fotochimico, una soluzione 1 mg/l di acido umico (HA) commerciale (Fluka), in NaCl al 3 %. è stata sottoposta ad irraggiamento solare per 10 ore e analizzata tramite EHM e cromatografia, prima e dopo il trattamento. I dati, quindi, sono stati confrontati con quelli dei campioni, fluviale e costiero, usati per le EEM. La figura 3 riporta le EEM di una soluzione di HA, prima e dopo l'irraggiamento, con il corrispondente comportamento cromatografico; i

cromatogrammi dei campioni sono illustrati in figura 4. È rilevabile una chiara depressione della fluorescenza nello standard di HA irradiato, insieme con una variazione dell'aspetto cromatografico. Infatti il cromatogramma dello standard prima dell'irraggiamento mostra un picco principale corrispondente ad un peso molecolare medio apparente (M_r) di 944 Da, con una coda ad un M_r di 550 Da. Al contrario il cromatogramma dello standard, dopo l'irraggiamento, mostra solo un'ampia banda a cui corrisponde un M_r medio 154 Da. Per quanto riguarda i campioni naturali, il cromatogramma del campione fluviale mostra una banda, a bassa intensità, ad un M_r di 1.323 Da ed una netta banda principale ad un M_r di 306 Da. Il cromatogramma del campione costiero, invece, mostra un singolo picco corrispondente ad un M_r di 175 Da. La presenza di composti con peso molecolare piuttosto basso, soprattutto nel campione costiero, insieme con le differenze osservate tra le EEM dei campioni, fluviale e costiero (considerando anche il regime di irraggiamento solare del periodo di campionamento), supportano fortemente l'ipotesi della presenza di un processo di fotodegradazione nei campioni costieri, come in precedenza ipotizzato sulla base dei dati ottici e del DOC.

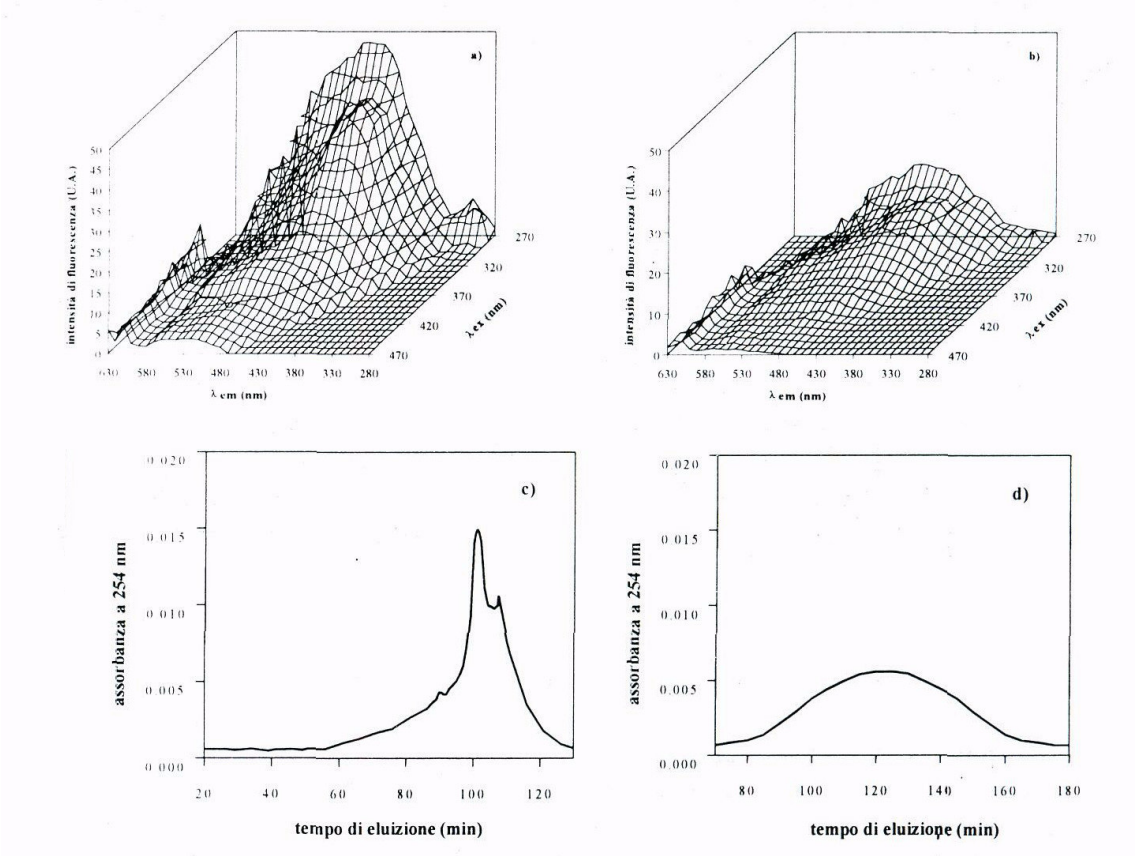


Fig. 3 - Rappresentazione 3D di EEM e relativi cromatogrammi di una soluzione 1 mg/l di acido umico commerciale in NaCl al 3 %; a) e c) prima dell'irraggiamento, b) e d) dopo l'irraggiamento.

4. DISCUSSIONE

Sulla base di questi risultati può essere ottenuto un certo numero di informazioni sui processi chimici che potrebbero verificarsi nell'area costiera oggetto di questo studio; tuttavia, l'estensione a scale temporali e spaziali maggiori è azzardata, anche perché non ci sono dati relativi ad altre aree del Mediterraneo per un confronto.

Il rapido decremento di DOC, assorbimento e fluorescenza che si manifesta nelle prime miglia della costa, di fronte alla foce del fiume Arno, può essere correlato o con un regime conservativo di semplice diluizione, o con un. meccanismo in cui il materiale organico fluviale, in mare, è trasformato non conservativamente in composti organici ed inorganici diversi. Questa seconda ipotesi potrebbe essere posta in relazione all'attività microbiologica degli organismi marini, sia autotrofi che eterotrofi, così come ad un processo fotochimico, indotto dall'irraggiamento solare della superficie marina. I dati qui riportati, nonostante l'incertezza dei valori di assorbimento sopra menzionata, inducono a propendere per la seconda alternativa, tenendo presente anche il regime di irraggiamento del periodo di campionamento. La stessa conclusione è stata recentemente riportata in letteratura, per varie acque di estuario, sulla base di dati sia di fluorescenza (De Souza Sierra *et al.,* 1997) che di AC^{14} e C/N (Guo & Santschi, 1997).

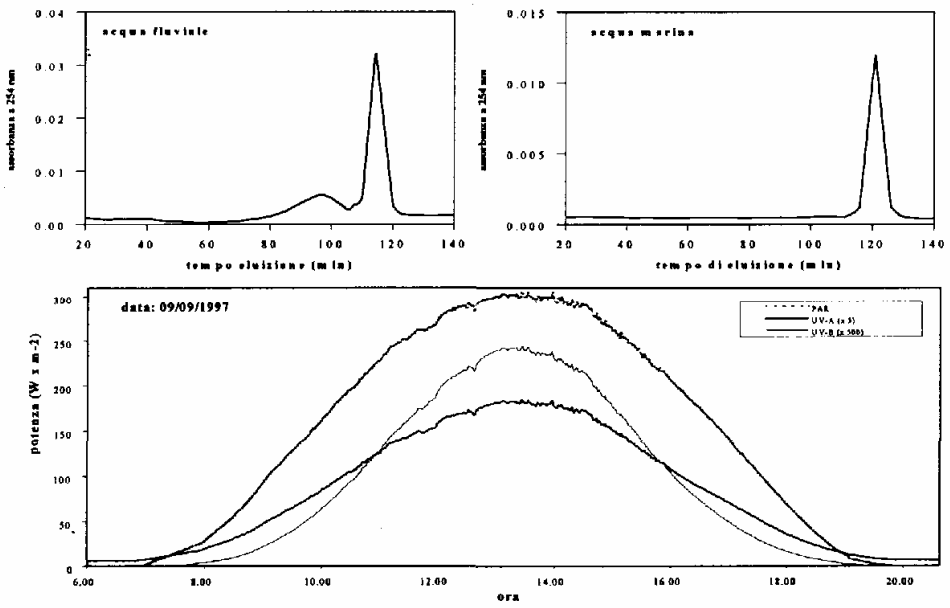


Fig. 4 - Cromatogrammi di un campione fluviale e di uno costiero. In basso: condizioni di irraggiamento solare del giorno di campionamento.

Allo stesso tempo, i bassi valori di assorbimento e fluorescenza, insieme con le basse concentrazioni di DOC, sono in accordo con la presenza di un meccanismo di

fotodegradazione, in cui complesse strutture ad alto peso molecolare vengono parzialmente trasformate in composti organici ed inorganici più semplici. In particolare, i bassi valori dei di a_{280} e a_{355}, ma principalmente di a^*_{280} e a^*_{355}, devono essere interpretati (Chin *et al,* 1994; Blough & Green, 1995) come prova della presenza di composti a basso peso molecolare e a basso contenuto di carbonio aromatico. I valori relativamente alti di S si accordano con questa osservazione, dato che S è stato inversamente correlato al contenuto di carbonio aromatico (Blough & Green, 1995). Anche i bassi valori di Φ_λ possono essere interpretati in termini di presenza di un processo di fotodegradazione dovuto alle condizioni di irraggiamento solare, così come a differenze della composizione qualitativa del materiale fluoroforico tra campioni fluviali e costieri. Il confronto delle EHM dei campioni fluviale e costiero, così come il loro comportamento cromatografico, sembra supportare questa ipotesi. Inoltre, l'uso di un composto standard contribuisce alla comprensione di come i processi fotochimici influenzino sia la forma spettrale che il peso molecolare della sostanza organica naturale (anche se il suo comportamento non è sempre rappresentativo dei campioni naturali).

Naturalmente tutta la materia necessita di ulteriori conferme, per cui, nel futuro, occorrerà raccogliere una maggiore quantità di dati stagionali e spaziali, allo scopo di raggiungere appropriate conclusioni.

BIBLIOGRAFIA

Amon R.M.W. & Benner R. 1994. Rapid cycling of high-molecular weight dissolved organic matter in the ocean. *Nature,* 369: 549-552.

Benner R.. Pakulski J.D., McCarthy M., Hedges J.I. & Hatcher P.G. 1992. Bulk chemical characteristic of dissolved organic matter in the sea. *Science,* 255: 1561-1564.

Blough N.V. & Green S.A. 1995. Spectroscopic characterization and remote sensing of nonliying organic matter. In: The role of nonliving organic matter in the Earth's carbon cycle (Zepp R.G. & Sonntag C. ed.). John Wiley & Sons, Chichester: 23-45.

Bricaud A.. Morel A. & Prieur L. 1981. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnol. Oceanogr.,* 26: 43-53.

Cauwet G., Gadel F., De Souza Sierra M.M., Donard O. & Ewald M. 1990. Contribution of the Rhône River to organic carbon inputs to the northwestern Mediterranean Sea. *Continental Shelf Res.,* 10: 1025-1037.

Cauwet G.. Miller A., Brasse S., Fengler G., Mantoura R.F. & Spitzy A. 1997. Dissolved and particulate organic carbon in the western Mediterranean Sea. *Deep Sea Res* II,. 44: 769-779.

Chen R.F. & Bada J.L. 1992. The fluorescence of dissolved organic matter in seawater. *Mar. Chem.,* 37: 191-221.

Chen R.F.. Fry B., Hopkinson C.S., Repeta D..I. & Peltzer E.T. 1996. Dissolved organic carbon on Georges Bank. *Continental Shelf Res.,* 16: 409-420.

Chili Y.P.. Aiken ti. & O'Loughlin E. 1994. Molecular weight. polydispersity, and spectroscopic propertics of aquatic humic substances. *Environ. Sci. Technol.,* 28: 1853-1858.

Coble P.O. 1996. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Mar Chem..* 51: 325-346.

Coble P.O., Green S.A., Blough N.V. & Gagosian R.B. 1990. Characterization of dissolved organic mailer in the Black Sea by fuorescence spectroscopy. *Nature.* 348: 432-435.

Copin-Montégut G. & Avril B. 1993. Vertical distribution and temporal variation of dissolved organic carbon in the North-Western Mediterranean Sea. *Deep Sea Res.* I, 40: 1963-1972.

De Haan H. *&* De Boer T. 1987. Applicability of light absorbance and fluorescence as measures of concentration and molecular size of dissolved organic carbon in humic lake Tjeukemeer. *Water Rea..* 21: 73 1-734.

De Souza Sierra M.M., Donard O.F.X. & Lamotte M. 1997. Spectral identification and behaviour of dissolved organic fluorescent material during estuarine mixing processes. *Mar. Chem.,* 58: 51-58.

De Souza Sierra M.M. Donard O.F.X., Lamotte M., Belin C. & Ewald M. 1994. Fluorescence spectroscopy of coastal and marine waters. *Mar. Chem.,* 47: 127-144.

Donard O.F.X.. Lamotte M.. Belin C. & Ewald M. 1989. High-sensitivity fluorescence spectroscopy of mediterranean waters using a conventional or a pulsed laser excitation source. *Mar. Chem.,* 27: 117-136.

Druffel L.R.M.. Williams P.M., Bauer J.E. & Ertel J.R. 1992. Cycling of dissolved and particulate organic mailer in the open ocean. .7. *Geophys. Res.,* 97: 15639-15659.

Ferrari G.M. & Tassan S. 1991. On the accuracy of determining light absorption by "yellow substance" through measurements of induced fluorescence. *Limnol. (h-canov* . 36: 777-786.

Green S.A. & Blough N.V. 1994. Oplical absorption and fluorescence properties of ehromophoric dissolved organic mailer in natural waters. *Limnol. Oceanogr.,* 39: 1903-1916.

Guo L.. Coleman Jr C.H. & Santschi P.H. 1994. The distribution of colloidal and dissolved organic carbon in the Gulf of Mexico. *Mar. Chem.,* 45: 105-119.

Guo L.. Santschi P.H. & Warnken K..W. 1995. Dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in Oceanic environments. *Limnol. Oceanogr.,* 40: 1392-1403.

Guo L. & Santschi P.H. 1997. Isotopic and elemental characterization of colloidal organic matter from the Chesapeake Bay and Galvestone Bay. *Mar. Chem.,* 59: 1-15.

Häder D.P.. Lebert M.. Marangoni R. & Colombetti G. 1999. ELDONET – European Light Dosimeter Network hardware and software. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.,* 52: 51-58.

Hedges J.I. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Mar. Chem.,* 39:67-93.

Hedges J.I. & Keil R.G. 1995. Sedimentary organic mailer preservation: an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem.,* 49: 81-115.

Hoge F., Vodacek A. & Blough N.V. 1993. Inherent optical properties of the ocean: retrieval of the absorption coefficient of chromophoric dissolved organic matter from fluorescence measurements. *Limnol. Oceanogr.,* 38: 1394-1402.

Miller W.L. & Zepp R.G. 1995. Photochemical production of dissolved inorganic carbon from terrestrial organic matter: significance to the Oceanic organic carbon cycle. *Geophys. Res. Letters,* 22: 417-420.

Mopper K. & Schultz C.A. 1993. Fluorescence as a possible tool for studying the nature and water column distribution of DOC components. *Mar. Chem.,* 41: 229-238.

Mopper K., Zhou X., Kieber R.J., Kieber D.J., Sikorski R.J. & Jones R.D. 1991. Photochemical degradation of dissolved organic carbon and its impact on the oceanic carbon cycle. *Nature,* 353: 60-62.

Nieke B., Reuter R., Heuermann R., Wang H., Babin M. & Thierrault J.C. 1997. Light absorption and fluorescence properties of chromophoric dissolved organic matter (CDOM), in the St. Lawrence Estuary (Case 2 waters). *Continental Shelf Res.,* 17: 235-252.

Rusakowicz R. & Testa A.C. 1968. 2-Aminopyridine as a standard for low-wavelength spectrofluorimetry. *J. Phys. Chem.,* 72: 2680-2681.

Santschi P.H., Guo L., Baskaran M., Trumbore S., Southon J., Bianchi T.S., Honeyman B. & Cifuentes L. 1995. Isotopic evidence for the contemporary origin of high-molecular weight organic matter in Oceanic environments. *Geochim. Cosmochim. Acta,* 59:25-631.

Scritti A., Morelli E., Nannicini L. & Del Vecchio R. 1994a. Production of hydrophobic fluorescent organic matter by the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum. Chemosphere,* 28: 117-129.

Seritti A., Morelli E., Nannicini L., Giambelluca A. & Scarano G. 1994b. Fluorescence emission characteristics of naturally occurring organic matter in relation to metal complexation studies. *Sci. Tot. Environ.,* 148: 73-81.

Scritti A., Nannicini L. & Del Vecchio R. 1996. Use of synchronous scan excitation spectra to detect fluorescent metal organic ligands produced by the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum. Environ. Technol,* 17: 25-33.

Scritti A., Nannicini L., Del Vecchio R., Giordani P., Balboni V. & Miserocchi S. 1997. Optical properties of sediment pore waters of the Adriatic Sea. *Toxicol. Environ. Chem.,*61*:* 195-209.

Vodacek A., Blough N.V., DeGrandpre M.D., Peltzer E.T. & Nelson R.K. 1997. Seasonal variation of CDOM and DOC in the Middle Atlantic Bight: terrestrial inputs and photooxidation. *Limnol. Oceanogr.,* 42: 674-686.

Lavoro presentalo al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 195-205, luglio 2000

THE AUTOECOLOGY OF SOME MUD-DWELLING SPECIES HELPS UNDERSTANDING CHANGES IN BENTHIC COMMUNITIES OF THE NORTHERN ADRIATIC SEA

Stefano SCHIAPARELLI[1], Mariachiara CHIANTORE[1],
Riccardo CATTANEO-VIETTI[1], Daniele BEDULLI[2], Giancarlo ALBERTELLI[1]

[1] DIP.TE.RIS., Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università di Genova, Viale Benedetto XV, 5 - 16132 Genova (Italy)
[2] Dipartimento di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università di Parma, Viale delle Scienze - 43100 Parma (Italy)

ABSTRACT

In recent years the macrobenthic fauna of the Adriatic Sea has been widely investigated in order to evidence long-term changes in community structure and distribution.

In Summer 1996 and 1997 macrobenthic samples were collected using a 0.1 m^2 Van Veen grab along 13 transects perpendicular to the shore. Attention was focused on molluscs and echinoderms, because of their large abundance and response to sediment and environmental features.

South of the Po River Delta a wide *Corbula gibba* community is found in shallow water, followed by an *Amphiura filiformis* dominated community. Moving southward, the bathymetrics are more closely spaced, determining a regular succession of communities: a *Chamelea gallina* community is found between 6 and 10 m depth, followed by a rich *Corbula* community at 15-30 m and then by a very impoverished zone, but still characterised by C. *gibba* and *Hyala vitrea.* The bivalve *Mysella bidentata* is frequently found (with high density values) on muddy sediments, in association with the ophiuroid *Amphiura filiformis.*

The autoecology of these key-species is considered, in order to understand benthic communities structure, distribution and response to long-term environmental changes.

Dominance of *A. filiformis* or *C. gibba* are interpreted as different phases of recovery, in time and space, of benthic communities living in unstable muddy sediments.

RIASSUNTO

Negli ultimi anni e stata posta particolare attenzione sulla fauna macrobentonica del Mar Adriatico con io scopo di mettere in luce cambiamenti a lungo termine nella struttura e distribuzione delle comunità.

Nel corso delle estati 1996 e 1997 sono stati prelevati campioni di macrobenthos lungo 13 transetti perpendicolari a costa. utilizzando una benna Van Veen da 0.1 m^2.

Particolare attenzione e stata posta sui popolamenti a molluschi ed echinodermi, a causa della loro abbondanza e del loro ruolo di indicatori delle caratteristiche ambientali e sedimentarie.

A Sud del Delta Padano si rinviene una vasta comunità litorale a *Corbula gibba,* seguita, più al largo, da una comunità ad *Amphiura filiformis.* Spostandosi più a sud, le batimetriche sono più ravvicinate, determinando una regolare successione dei popolamenti: tra i 6 ed i 10 m si rinviene una comunità a *Chamelea gallina,* seguita da una ricca comunità a *Corbula* tra i 15 ed i 30 m e, più al largo, da una comunità impoverita, ma caratterizzata ancora da *C. gibba* e *Hyala vitrea.* Il bivalve *Mysella bidentata* si rinviene frequentemente (con elevati valori di densità) su sedimenti fangosi, in associazione con 1'ofiuroide *Amphiura filiformis.*

In questo lavoro si prendono in esame alcune caratteristiche autoecologiche di queste specie chiave, al fine di interpretare la struttura e la distribuzione delle comunità macrobentoniche c di determinarne le risposte a lungo termine alle modificazioni ambientali.

La dominanza di *A. filiformis* o *C. gibba* puo rappresentare due differenti fasi del processo di ripristino, nello spazio e nel tempo, delle comunità bentoniche che vivono su fondi fangosi instabili.

1. INTRODUCTION

A long-term research has been performed since 1996. in order to detect possible changes occurred in the structure and distribution of benthic communities in the last decades in .the Adriatic Sea.

This close basin is strongly influenced by sedimentation processes, which constitute the most important ecological constraint in affecting the bottom sediment texture and. consequently, the infauna distribution, [n particular, the Po River, the major effluent, influences a large area with its run-offs, acting as the main driving force in the physical context. The amount of organic and nutrient load which accompanies the sediment river output determines different trophic conditions in the Northern Adriatic Sea: oligokrophic, mesotrophic, eutrophic and ipertrophic areas may be distinguished (Marchetti, 1987; Frascari *et al*., 1990; Crema *et al*., 1991). These areas are consequently subjected to recurrent anoxic events at the water-sediment interface (Justic *et al*., 1987). both on the Italian coasts (Vollenweider, 1998), off-shore and close to the Slovenian coasts (Fedra W *et al*., 1976). with oxygen saturation values down to 13% (Degobbis *et al*., 1979). or 24% (Vidakovic & Zavodnik. 1984). These anoxic events cause the accumulation to the bottom of large mucous aggregates, after the phytoplankton blooms, making impossible gas exchanges with the overlying water column.

Mass mortalities, in fact, have been recorded many times in the last years in the Gulf of Trieste (Stachowitsch. 1984 and 1986: Vidukovic & Zavodnik 1984; Zavodnik *et al*., 1994) and probably arc, jointly with the variable sedimentation rates, responsible of the more and more frequently observed and often dramatic changes in the

composition of benthic communities (Scaccini, 1967; Ghirardelli *et al.,* 1973; Vidakovic & Zavodnik, 1984).

In this paper, particular attention was focused on some relevant mud-dwelling mollusc and echinoderm species, which have turned out dominant in the last decades, whose ecological features could explain the occurred changes from the 30's.

2. MATERIALS AND METHODS

Sampling was carried out between Chioggia and San Benedetto del Tronto during two different cruises, in August 1996 and October 1997. Samples were collected in 72 stations, ranging in depth between 5 and 68 m, located along 13 transects perpendicular to the shore (Fig. 1), using a 0.1 m^2 Van Veen grab (from 5 to 10 replicates). The sediment was sieved through a 1 mm mesh sieve in order to retain the macrobenthic fraction and preserved in 10% buffered formalin.

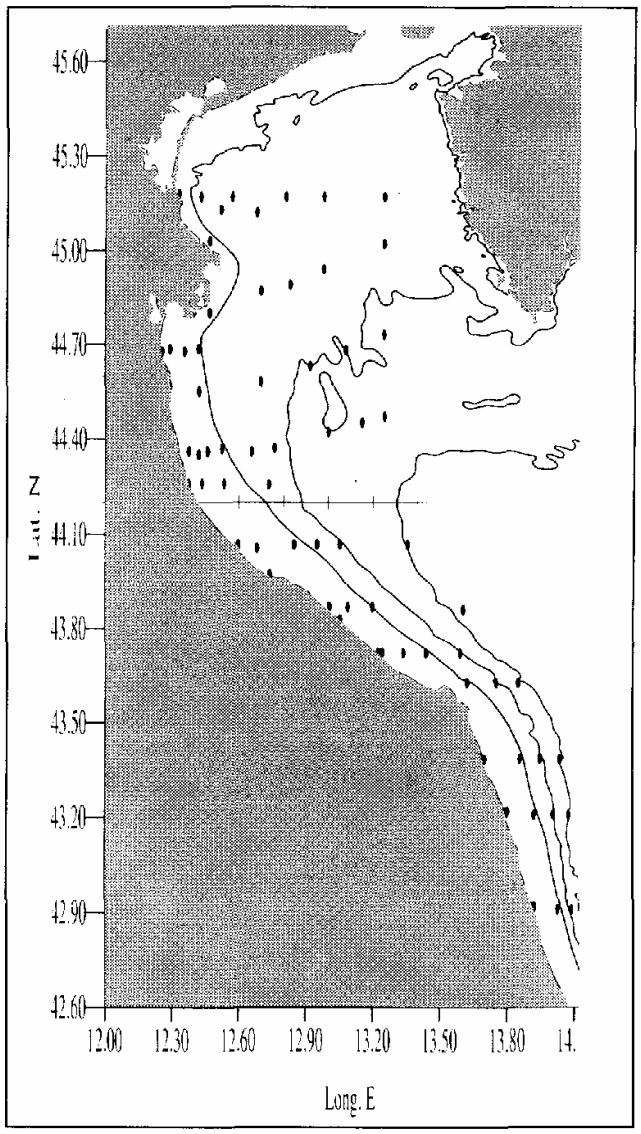


Fig. 1 - Location of sampling stations.

3. RESULTS

3.1. Infaunal communities

A total of 150 different species was recorded (77 bivalves, 47 gastropods, 1 scaphopod, 1 solenogaster, 9 holothuroids, 7 ophiuroids, 5 echinoids, 2 asteroids).

Only few species reach significant values of numerical dominance on the total of the .samples: among molluscs *Corbula gibba* (41 %), *Chamelea gallina* (21 %), *Mysella hidentata* (20 %), *Nucula nitidosa* (1.5 %), *Hyala vitrea* (1.3 %) and *Cylichna cylindracea* (0.8 %), while among echinoderms *Amphiura filiformis* (3.3 %), *Labidoplax digitata* (1.3 %) and *Amphiura chiajei* (0.1 %).

The sub-littoral area facing the Po River Delta is characterised by very high abundance values of two bivalves, according to their sediment grain size preferences: *C. gallina* reaches increasing densities (up to 4.200 ind/m^2) moving southward on sub-littoral sandy sediments, while *C. gibba* constitutes large assemblages on muddy sediments in the area to the South of the Po

River Delta, reaching 1,800-1,900 ind/m^2. Moving off-shore, a widespread *Amphiura* community is found, with *A. filiformis* reaching density values up to 590 ind/m^2 and frequently occurring in association with the bivalve *M. bidentala* (density up to 5,300 ind/m^2), as already observed in Atlantic waters (Ockelmann & Muus, 1978).

Moving southward, the bathymetrics are more closely spaced, determining a regular succession of communities: *C. gallina* is found between 6 and 10 m depth, followed by a rich *C. gibba* community at 15-30 m and by a very impoverished, but still characterised by C. *gibba* and *H. vitrea,* zone.

On this basis, it is evident that only few mud-dwelling species witness changes occurred in the last decades in the benthic community structure and are worthwhile of a deeper insight on their ecological remarks: C. *gibba, A. filiformis, M. bidentata,* whose abundances have largely increased and 7. *communis,* which was dominant in the past and is at present found almost exclusively as dead shells.

3.2. Autoecology of mud-dwelling species

MOLLUSCA
BIVALVIA
Fam. Corbulidae
Corbula gibba (Olivi, 1792)

C. gibba is a typical inhabitant of thick muddy sand with admixed gravel and pebbles necessary to plant the single byssus thread; if placed in softer mud, without gravel, this species appears to maintain hardly its siphons flush with the surface (Yonge,. 1946a). The burrowing process is very long (about 30 min.) due to shell shape, and finishes with the anchoring of the single byssus thread; when burrowing is completed the animal appears seldom to change its position (Yonge, 1946a).

C gibba is a sedentary suspension feeder, but the boundary between suspension and deposit feeding is not so clear for this species (Di Geronimo *et al.,* 1987), which feeding currents are drown from the lowest water levels, and so contain much bottom material, as bottom-living diatoms, bacteria and organic debris (Yonge, 1946a). The elastic conchiolin border layer, present on the left valve, allows a hermetic closure of the shell (Levy & Samtleben, 1979), bypassing environmental stress, lethal to other species of the community (Bonvicini-Pagliai & Serpagli, 1988), particularly de-oxygenation (Pearson & Rosenberg, 1978). These characteristics make *C. gibba* suitable to live in sub-terminal conditions of organic enrichment (Ghirardelli & Pignatti, 1968; Pearson & Rosenberg, 1978; Salen-Picard, 1981) and to be a pioneer species in the recolonization of dredged areas, when excessive turbidity precludes the recruitment of other species (Specchi & Orel, 1968; Poluzzi *et al.,* 1981; Bonvicini-Pagliai *et al.,* 1985).

Peres & Picard (1964), consider the biocoenosis of unstable bottoms (Biocoenose des funds meubles instables: MI), characterised by *C. gibba,* a transient community typical of bottoms with unstable sedimentation rates, that, due to their punctuated activity, do not allow the persistence of an organic film on the bottom.

Fam. Montacutidae
Mysella bidentata (Montagu, 1803)

M. bidentata is a small Montacutidae bivalve, which preferentially lives in the oxydized layers around the burrows of the amphiurid *Amphiura* spp., gaining protection from surface-hunting predators and additional supply of food (Ockelmann & Muss, 1978). In our samples, *M. bidentata* was found mainly in association with *A. filiformis.* Moreover the shell shape more generally found in our samples is the one called "m-form" by Ockelmann & Muss (1978), typical of *Mysella* when living in sandy mud in association with amphiurids. The other form is the "s-form", typical of free-living sand-dwelling *Mysella* specimens.

A. filiformis is not the unique possible host: some polychaetes, bivalves and holothuroids species serve as well as ophiuroids in this kind of commensal association (for a review see Ockelmann & Muss, 1978), as evidenced by our data, where *Mysella* was found in association also with the holothuroid *Labidoplax digitata* (Spearman rank correlation between *Mysella* and *A. filiformis* + *L. digitata.* $r = 0.53$; $p < 0.001$).

GASTROPODA
Fam. Turritellidae
Turritella communis Risso, 1826

T. communis is an exclusively suspension-feeder which remains stationary buried just below the sediment surface for long periods of time (Yonge, 1946b) and is able to constitute *a fades* within the VTC (Peres & Picard, 1964) biocoenosis, characterised by high sedimentation rates (Sartenaer, 1959). Generally speaking, it is present in all coastal environments characterised by soft mud (with a silt/clay content of 80 to 90% according to Kennedy, 1995). In these situations *T. communis* could be very abundant, turning out the dominant species within a relatively low diversified community (Vatova, 1949; Sartenaer, 1959; Kennedy, 1995).

In the Mediterranean, records of *Turritella* taphocoenoses are more frequent than those of living *Turritella fades* (Di Geronimo & Giacobbe, 1983; Giacobbe & Leonardi, 1985; 1988; Giacobbe & Mondello, 1994). In fact, if the sedimentation rate is too high and loose silt is formed, *T. communis* could not maintain the position at the water-sediment boundary (Yonge, 1946b) and this can determine high mortality.

This seems to be the case of the Northern Adriatic Sea, where the organic enrichment, increase in surface instability and flocculation at the benthic boundary layer affected the ability of *Turritella* to maintain its required subsurface position.

ECHINODERMATA
OPHIUROIDEA
Fam. Amphiuridae
Amphiura filiformis (O.F. Müller, 1776)

A. filiformis is a rapidly growing suspension-feeder, characterised by a high metabolic rate (Buchanan, 1964) and, probably, a long life span (at least 20 years: Muus,

1981; O'Connor *et al,* 1983), although discordant data about growth rate were also reported (Muus, 1981).

It is essentially a trapper of suspended matter, without any self-produced feeding current, and lives buried in the sediment, with the arms reaching up into the water column (Woodley, 1975). It seems to prefer sediments of finer granulation (Buchanan, 1964; Zavodnik, 1972), with a silt-clay content of 10-20% (Buchanan, 1963; Ockelmann & Muus, 1978; Glémarec & Menesguen, 1980; López-Jamar, 1981; O'Connor *et al.,* 1983), although it can be found also in substrata ranging from sandy to shell debris or *maerl* with mud (O'Connor & McGrath, 1980; Zavodnik, 1980). The distribution of this species seems to be mainly related to hydrographic features of the bottom, more than to depth, due to its reophilic preferences. In fact it occurs with high densities in the Ligurian Sea, at the shelf break (Cattaneo, 1981), while in the North Sea, where stronger currents are related to tide excursion, its distribution is confined to higher bathymetric levels (Buchanan, 1963; 1964; Picard, 1965). It can be found in considerable numbers, showing annual densities and population structures which vary little from year to year (Ockelmann & Muus, 1978; Glemarec & Menesguen, 1980; O'Connor & McGrath, 1980; Muus, 1981; O'Connor *et al,* 1983, 1986), although its spatial distribution is patchy and uneven (Buchanan, 1964; Munday & Keegan, 1992). Localised clumping or patchiness of *A. filiformis* may improve its feeding *milieu* by creating a baffle effect (Warner, 1979; Keegan *et al.,* 1985): the extension by such aggregated individuals of the "corporate" feeding apparatus into the water column would tend to have the effect of disrupting bottom current-flow, thereby increasing the precipitation of any suspended material (Munday & Keegan, 1992).

It seems to be a highly tolerant species to low oxygen and high sulphide content of the sediments (Vistisen & Visrnann, 1997), compared to epibenthic ophiuroids, such as *Ophiura albida.*

Highest densities are found mainly in areas close to a rich supply of fine sediment, due to coast erosion and run-off, and where the bottom conditions are turbolent but the supply of fine material is sufficiently great to produce a covering of fine silty sediment at depths. On the basis of its occurrence with high density and due to its known effects on the sediments (Ockelmann & Muus, 1978), it is tentatively given “keystone” status at several locations in European coastal waters (O'Connor *et al.,* 1983).

4. DISCUSSION

In the Adriatic Sea there arc evidences that muddy communities are experiencing a change from dominance by *T. communis* to dominance by *C. gibba* and *A. filiformis* (Scaccini, 1967; Vidakovic & Zavodnik, 1984; Ambrogi *et al.,* 1990; Justic, 1991; Zavodnik *et al.,* 1994; Albertelli *el al.,* 1998), while littoral sandy communities are consistent in time, except for showing a narrower distribution.

T. communis should be considered as a “filtering mollusc” in terms of feeding behaviour. Its reduced mobility makes it more sensitive to clogging of its filter-feeding apparatus due to fluctuating features of the water-sediment boundary (sedimentation rate, organic load, flocculation). Differently, *C. gibba,* probably thanks to a less

selective filtering behaviour and to its well-known strong foot mobility (Yonge, 1946a), could not be affected by sediment instability and is able to maintain a sub-surface position, avoiding burial and siphon clogging.

Following a general eutrophication process and sediment instability, a demographic burst of *C. gibba* has taken place, as already observed in different areas under increasing anthropogenic impact, both in the Mediterranean Sea (Ghirardelli & Pignatti, 1968; Crema *et al.*, 1991: Moodley *et al.*, 1998) and in the European Atlantic coasts (Pearson & Rosenberg, 1978; Pearson *et al.*, 1985; Josefson, 1990; Fallesen, 1992: Josefson *et al.*, 1993; Hagerman *et al*., 1996).

C. gibba, at present, is found in densities with values comparable to those found recently in the same area by Crema *et al.,* (1991) and Moodley *et al.,* (1998).

Similarly, *A. filiformis* is found, at present, with density values much higher than those, up to 15 ind/m^2, reported by Zavodnik (1972; 1980), but comparable to those found in Atlantic waters (up to 300-400 ind/m^2 and even around 800 ind/m^2 on the west coast of Ireland: O'Connor & McGrath, 1980; O'Connor *et al.*, 1983) and in the North Sea (300-400 ind/m^2: Buchanan, 1964).

The deposit-feeding *A chiajei*, more widespread in the Adriatic Sea in the 30's, is exclusively linked to environments where fine particulate matter is allowed to deposit. *A. filiformis* occurs in quantity throughout a wide range of sediments, although generally in shallow water. Being a reophilic and a suspension-feeding species, it is favoured by the generally increased particulate organic matter supply (Vidakovic & Zavodnik. 1984).

The observed absence of detectable free sulphide (Barbanti *et al.*, 1995; Moodley *et al.,* 1998), the strongest ecological constraint to benthic communities (Vistisen & Vismann, 1997), determines environmental conditions suitable for tolerant species, whose densities are however subjected to strong bursts, but also allows the occurrence of a highly diversified group of accompanying species. Moreover, an important role is played by burrowing organisms, such as amphiurids, whose activity provides oxygen for species, such as *Mysella* or the small gastropod *Hyala vitrea*. that apparently do not have direct contact with the overlying water (Moodley *et al.*, 1998). In fact, these biotic interactions may be important factors governing the structure and abundance of benthic communities under oxygen deficiencies (Moodley *et al.*, 1998).

Even after severe oxygen depletion leading to azoic conditions, the benthic communities re-establish thanks to the massive occurrence of C. gv'6&;; within two years the community has almost completely returned to the previous condition, rich in species and biomass, though not completely stabilised (Zavodnik *et al.*. 1994).

The high food availability and the large supply of larvae from water flowing along the Eastern side of the basin are the main responsible of such rapid recovery. Consequently, *Amphiura* and *Corbula* communities may represent two different phases of recovery, in time and space, of benthic communities living in unstable muddy sediments.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the national project PRISMA 2 (Progetto per lo Studio e la Salvaguardia del Mar Adriatico).

REFERENCES

Albertelli G., Bedulli D., Cattaneo-Vietti R., Chiantore M., Giacobbe S., Jerace S., Leonardi M., Priano F., Schiaparelli S. & Spano N. 1998. Trophic features of benthic communities in the Northern Adriatic Sea. *Biol. Mar. Medit., 5* (1): 136-143.

Ambrogi R., Bedulli D. & Zurlini G. 1990. Spatial and temporal patterns in structure of macrobenthic assemblages. A three-year study in the Northern Adriatic Sea in front of the Po River Delta. *P.S.Z.N.I.: Mar. Ecol.,* 11 (1): 25-41.

Barbanti A., Bergamini M.C., Frascari F., Miserocchi S., Ratta M. & Rosso G. 1995. Diagenetic processes and nutrient fluxes at the sediment-water interface, northern Adriatic Sea, Italy. *Mar. Freshwater Res.,* 46: 55-67.

Bonvicini-Pagliai A.M., Cognetti-Varriale A.M., Crema R., Curini Galletti M. & Zunarelli Vandini R. 1985. Environmental impact of extensive dredging in a coastal marine area. *Mar. Pollut. Bull.,* 16: 483-488.

Bonvicini-Pagliai A.M. & Serpagli F. 1988. *Corbula gibba* (Olivi) as a time recorder of environmental stress. A first contribution. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.,* 31 (2): 17.

Buchanan J.B. 1963. The bottom fauna communities and their sediment relationships of Northumberland. *Oikos,* 14: 154-175.

Buchanan J.B. 1964. A comparative study of some features of the biology of *Amphiura filiformis* and *Amphiura chiajei* (Ophiuroidea) considered in relation to their distribution. *J. mar. biol. Assoc. U.K.,* 44: 565-576.

Cattaneo M. 1981. Contribution a 1'etude du plateau continental de la Mer Ligure et haute tyrrhenienne. II. Echinodermata. *Cahiers de Biologic Marine,* 22: 11-24.

Crema R., Castelli A. & Prevedelli D. 1991. Long-term eutrophication effects on macrofaunal communities in Northern Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.,* 22 (10): 503-508.

Degobbis D., Smodlaka N., Pojed I., Skrivanic A. & Precali R. 1979. Increased eutrophication in the northen Adriatic. *Mar. Poll. Bull.* 10: 298-301.

Di Geronimo I. & Giacobbe S. 1983. Popolamenti e tanatocenosi a molluschi dei fanghi terrigeni costieri al largo di Brucoli (Siracusa). *Boll. Mus. Reg. Sci, Nat. Torino.,* 1 (1): 137-164.

Di Geronimo I., Raffi S. & Rosso A. 1987. Dominanza di specie opportuniste nei "Popolamenti Eterogenei" del Pleistocene Inferiore di Mazzarino (Sicilia Centrale). *Boll Acc. Gioena Sci. Nat.,* Vol. 20, Nr. 331: 129-166.

Fallesen G. 1992. How sewage discharge, terrestrial run-off and oxygen deficiensis affect the bottom fauna in Arhus Bay, Denmark. In: Marine Eutrophication and

Population Dynamics, Proceedings of 25th European Marine Biology Symposium. Olsen & Olsen, Denmark: 29-34.

Fedra K., Olscher E.M., Scherübel 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 (2): 129-145.

Frascari F., Rosso G., Bortoluzzi G., Brambati A., Quarantotto G., Ravaioli M., Bonvicini Pagliai A.M., Crema R., Castelli A., Mauri M., Orlando E. & Prevedelli D. 1990. integrate evaluating program on drilling discharge effects in a Northern Adriatic Sea site. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.,* 32 (1): 310.

Ghirardclli E., Orel G. & Giaccone G.G. 1973. L'inquinamento del Golfo di Trieste. *Atti Mus. Civ. St. Nat. Trieste,* 28: 431-450.

Ghirardelli E. & Pignatti S. 1968. Consequence de la pollution sur les peuplements du "Vallone de Muggia" pres de Trieste. *Rev. Intern. Oceanogr. Med,* X*:* 111-122.

Giacobbe S. & Leonardi M. 1985. Caratteristiche dei sedimenti e bionomia bentonica in un'arca campione del Golfo di Milazzo. *Mem. Biologia Marina e Oceanografia,* 15: 165-189.

Giacobbe S. & Leonardi M. 1988. Un esempio di interrelazione fra tanatocenosi a molluschi e caratteristiche dei sedimenti in acque costiere siciliane. *Boll. Acc. Gioena Sci. Nat.,* 20 (331): 93-127.

Giacobbe S. & Mondello G.P. 1994. *Turritella* thanatofacies in the terrigenous mud biocoenosis (VTC) in Southern Tyrrhenian Sea. In: Studies on Ecology and Paleoecology of Benthic Communities. Matteucci R. *et at.* (ed.) *Ball. Soc. Paleont. Ital,* Spec. Vol. 2: 141-151.

Glémarec M. & Menesguen A. 1980. Functioning of a muddy sand ecosystem seasonal fluctuations at different trophic levels and difficulties in estimating production of the dominant macrofauna species. In: Marine benthic dynamics (Tenore K.R. & Coull B.C. eds.). University of South Carolina Press: 49-67.

Hagerman L., Josefson A.B. & Jensen J.N. 1996. Benthic macrofauna and demersal fish. In: Eutrophication in a coastal marine ecosystem (Richardson K. & Jørgensen B.B. eds.). American Geophysics Union, Washington DC.

Josefson A.B. 1990. Increase of benthic biomass in the Skagerrak-Kattegat during the 1970s and 1980s - effects of organic enrichment? *Mar. Ecol. Prog. Ser., 66:* 117-130.

Josefson A.B., Jensen J.N. & Ærtebjerg G. 1993. The benthos community structure anomaly in the late 1970s and early 1980s - a result of a major food pulse? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 172: 31-45.

Justic D. 1991. Hypoxyc conditions in the northern Adriatic Sea: historical development and ecological significance. In: Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia (Tyson R.V. & Pearson T.H. eds.). Geological Society Special Publication, 58: 95-105.

Justic D.. Legovic T. & Rottini-Sandrini L. 1987. Trends in oxygen content 1911-1984 and occurrence of benthic mortality in the northern Adriatic Sea. *Estuar. Coastal Shelf Sci.,* 25: 435-445.

Keegan B.F., O'Connor B.D.S. & Könnecker G.F. 1985. Littoral and benthic investigations on the west coast of Ireland - XX. Echinoderm aggregations. *Proc. R. Ir. Acad.,* 86B*:* 1-70.

Kennedy J. J. 1995. The courtship, pseudo-copulation behaviour and spermatophore of *Turritella communis* Risso 1826 (Prosobranchia: Turritellidae). *.J Moll. Stud.,* 61: 421-434.

Levy Z. & Samtlcben C. 1979. Functional morphology and paleontological significance of the conchiolin layers in corbulid pelecipods. *Lethaia,* 12: 341-351.

López-Jamar E. 1981. Spatial distribution of the infaunal benthic communities of the Ria de Muros, north-west Spain. *Mar. Biol.,* 63: 29-37.

Marchetti R. 1987. L'eutrofizzazione. Un processo degenerative delle acque. Collana scientifica. Franco Angeli Libri, Milano

Moodley L., Heip C.H.R. & Middelburg J.J. 1998. Benthic activity in sediments of the northwestern Adriatic Sea: sediments oxygen consuption, macro and meiofauna dynamics. *Jour, of Sea Research,* 40: 263-280.

Munday B.W. & Keegan B.F. 1992. Population dynamics of *Amphiura chiajei* (Echinodermata: Ophiuroidea) in Killary Harbour, on the west coast of Ireland. *Mar. Biol.,* 114:595-605.

Muus K. 198 1. Density and growth of juvenile *Amphiura filiformis* (Ophiuroidea) in the Øresund. *Ophelia,* 20 (2): 153-168.

O'Connor B., Bowmcr T. & Grehan A. 1983. Long-term assessment of the population dynamics of *Amphiura filiformis* (Echinodermata: Ophiuroidea) in Galway Bay (west coast of Ireland). *Mar. Biol.,* 75: 279-286.

O'Connor B. & McGrath D. 1980. The population dynamics of *Amphiura filiformis* (O.F. Muller) in Galway Bay, West coast of Ireland. In: Echinoderms:past and present (Jangoux M. ed). A.A. Balkema, Rotterdam: 219-222.

O'Connor B, McGrath D. & Keegan B.F. 1986. Demographic equilibrium: The case of an *Amphiura filiformis* on the west coast of Ireland. *Hydrobiologia,* 142: 151-158.

Ockelmann K.W. & Muus K. 1978. The biology, ecology and behaviour of the bivalve *Mysella bidenlata* (Montagu). *Ophelia,* 17(1): 1-93.

Pearson T.H., Josefson A.B. & Rosenberg R. 1985. Petersen's benthic stations revisited. I. Is the Kattegat becoming eutrophic? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol,* 92: 157-206.

Pearson T.H. & Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Rial. Ann. Rev.,* 16:229-311.

Peres J.M. & Picard J. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Mediterranee. *Rec. Trav. St., Mar. Endoume,* 47 (31): 3-17.

Picard J. 1965. Recherches qualitatives sur les biocenoses marines des substrats muebles dragables de la region Marsellaise. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume.* 36: 1-160.

Poluzzi A.. Sabelli B. & Taviani M. 1981. Auto-sinecologia dei molluschi dei fondi mobili del delta settentrionale del Po (Estate 1980). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana,* 20(2): 169-178.

Salen-Picard C. 1981. Evolution d'un peuplement de vase terrigene cotiere soumis a des rejets de dragages, dans le Golfe dc Fos. *Tethys,* 10: 83-88.

Sartenaer P. 1959. Premieres recherches taphonomiques, en scaphandre autonome, sur le facies a *Turritella tricarinata* forme *communis* de la vase molle terrigene du Golfe de Fos. *Rec. Trav. St.. Mar. Endoume.* 26 (16): 15-38.

Scaccini A. 1967. D'ati preliminari sulle zoocenosi bentoniche e sulla biocenosi in una zona dell'Alto e Medio Adriatico. *Note del Laboratorio di Biologia Marina e Pesca* - Fano, vol. 2(3): 25-56.

Specchi M. & Orel G. 1968. I popolamenti dei fondi e delle rive del Vallone di Muggia presso Trieste. *Roll. Soc. Adriat. Sc.,* Trieste, 56: 137-171.

Stachowitsch M. 1984. Mass mortality in the Gulf of Trieste: the course of community destruction. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol,* 5(3): 243-264.

Stachowitsch M. 1986. The Gulf of Trieste: a sensitive ecosystem. *Nova Thalassia,* 8 (3): 221-235.

Vatova A. 1949. La fauna bentonica dell'Alto e Medio Adriatico. *Nova Thalassia,* 1 (3): 1-110.

Vidakovic J. & Zavodnik D. 1984. Benthos of the Po River mouth-subject to stress conditions? VII Journees d'Etude sur Ics Pollutions Marines en Méditerranee. *Rapp. Comm. Int. Expl. Sc. Mer Medit.,* VII, Monaco: 805-808.

Vistisen B. & Vismann B. 1997. Tolerance to low oxygen and sulfide in *Amphiura filiformis* and *Ophiura albida* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Mar. Biol.,* 128: 241-246.

Vollenweider R.A. 1998. L'eutrofizzazione del bacino nord dell'Adriatico. Atti del Convegno "Evoluzione dello stato trofico in Adriatico: analisi degli interventi attuati e future linee di intervento", Marina di Ravenna, 28-29 Settembre 1995: 13-22.

Warner G.F. 1979. Aggregation in echinoderms. In: Biology and systematics of colonial organisms (Corwood G., Rosen B.R. eds.). Academic Press, London: 375-396.

Woodley J.D. 1975. The behaviour of some amphiurid brittle-stars. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 18:29-46.

Yonge C.M. 1946a. On the habits and adaptations of *Aloidis (Corbula) gibba. J. Mar. Biol. Ass. U. K.,* 26: 358-376.

Yonge C.M., 1946b. On the habits of *Turritella communis* Risso. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.,* 26: 377-380.

Zavodnik D. 1972. Amphiuridae (Echinodermata, Ophiuroidea) of the Adriatic Sea. *Zool. Jb. Syst. Bd., 99* S.: 610-625.

Zavodnik D. 1980. Distribution of Echinodermata in the North Adriatic Insular Region. *Acta Adriatica,* 21 (2): 437-468.

Zavodnik D., Travizi A. & Jaklin A. 1994. Phytoplancton bloom consequences on benthic organisms. In: UNEP/FAO-Final reports on research projects dealing with eutrophication problems. *MAP Tech. Repl Ser.* No 78, UNEP, Athens, 1994: 91-120.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.l.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 207-215, luglio 2000

PRIMO STUDIO DEL POPOLAMENTO ITTICO DELL'OASI DI PUNTE ALBERETE (RAVENNA, ITALIA)

Ruben ARTEGIANI, Francesco ZACCANTI

Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale Università degli Studi, 40126 Bologna

ABSTRACT

The area Punte Alberete, the only relic of the once more widespread wetlands of the Ravenna countryside is well-known both regionally and nationally for its natural resources. Until now no other study has examined the lentic ichthyofauna of this region. This study aims to evaluate the character and composition of the fish population of these lentic waters. These waters display a typical lentic water fauna, with a strong domination of Scardola-Rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) both in numbers and biomass. This does not, however, seem to limit the presence of other species, of which there are a total of 14. There arc a significant numbers of both Tench (*Tinea tinea*) and Pike (*Esox Indus*). The population structure of this latter species displays large numbers of individuals in the 0+ year class, which is an indicator of successful reproduction. It is also interesting to note that non-indiginous species form a minority of the ichthyofauna (5% by number and 21% of total biomass), in spite of the fact that they constituted nearly half of the species recorded (6 out of 14).

RIASSUNTO

Punte Alberete, relitto delle più ampie zone umide del Ravennate, e riconosciuta come un'area di elevato pregio naturalistico a livello regionale e nazionale. Dal momento che nessuno studio, fino ad oggi, era stato svolto sull'ittiofauna presente, con questo lavoro si e voluta fornire una prima valutazione circa la composizione e lo stato del popolamento ittico dell'Oasi. I risultati hanno mostrato una situazione tipicamente planiziale, con una forte dominanza numerica e ponderale della scardola (*Scardinius erythrophthalmus*) che non sembra comunque limitare le altre specie (in tutto 14). Significativa c la presenza della tinea (*Tinea tinea*) e del luccio (*Esox lucius*), quest'ultimo con numerosi individui appartenenti alla classe di età 0+, indice di buon successo riproduttivo della specie. Interessante e la ridotta presenza, in termini quantitativi, delle specie alloctone (5% in numero e il 21% in peso), nonostante risultino quasi la meta delle specie rinvenute (6 su 14).

1. INTRODUZIONE

Punte Alberete e una zona umida, con un'estensione di 186 ettari, localizzata in provincia di Ravenna nei pressi della foce del fiume Lamone. Nel 1968 e stata istituita "Oasi faunistica", mentre dal 1977 e inclusa tra le zone umide di importanza nazionale ai fini della conservazione della avifauna acquatica (Convenzione di Ramsar); oggi è riconosciuta tra le aree di maggior pregio naturalistico del Parco Regionale del Delta del Po. Dal punto di vista ambientale e ciò che resta della più ampia cassa di espansione del Fiume Lamone, di cui ancora conserva le caratteristiche di estrema variabilità del livello idrico durante il corso dell'anno, con variazioni che vanno da un 90% di allagamento della situazione invernale ad un 20% nel periodo estivo, quando 1'acqua rimane solo nei canali e nelle fosse più profonde.

L'attività di ricerca all'interno del comprensorio Punte Alberete-Valle Mandriole e sempre stata localizzata sulla componente ornitica e solo negli ultimi tempi alcuni studi hanno affrontato altri argomenti, quali 1'analisi delle comunità di macroinvertebrati, per la valutazione della qualità delle acque tramite il metodo E.B.I. (Extended Biotic Index).

La finalità della presente ricerca e stata quindi di fornire una prima valutazione, sia dal punto di vista qualitativo (elenco delle specie), sia quantitativo (rapporto numerico e ponderale tra le specie, densità) e biologico-ecologico (parametri di accrescimento, indici di mortalità, dinamica di popolazione) circa la composizione e lo stato del popolamento ittico dell'Oasi di Punte Alberete.

2. MATERIALI E METODI

La campagna di campionamenti e stata effettuata nell'anno 1996, nel periodo da giugno a settembre, in punti diversi dell'Oasi.

L'attrezzatura impiegata consisteva in un "cogollo", che può essere descritto come una rete a trappola munita di alcuni anelli semi rigidi che tengono aperta la coda dell'attrezzatura e al cui interno alcuni ingressi consecutivi tronco conici impediscono la fuga del pesce catturato. Il "cogollo" era munito di due bracci di incanalamento che consentivano di sbar-rare completamente il canale perlustrate e di catturarvi il pesce in transito.

Il materiale ittico e stato identificato tassonomicamente mediante le chiavi analitiche di Gandolfi *et al.* (1991) e misurato nei suoi dati morfometrici. Me diante la tecnica della conta degli annuli sulle scaglie, e stata stimata 1'età di individui campione di lunghezza nota a conferma delle valutazioni basate sulle curve di cattura.

Per quanto riguarda l'elaborazione dei dati per lo studio della struttura e dinamica dei popolamenti sono stati impiegati i seguenti riferimenti:

- gli accrescimenti lineari sono stati calcolati mediante l'equazione matematica di Von Bertalanffy (VBGF) (Pauly, 1984);
- per il calcolo dell'indice di mortalità (Z) e stato impiegato il metodo delle

"curve di cattura" (Pauly, 1980).

- il grado di diversità biologica e stato calcolato mediante l'indice di Shannon secondo la seguente formula (Shannon & Weaver, 1949):

$$H= -\sum [(ni/N)*\ln(ni/N)]$$

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nell'arco dell'intera campagna di campionamenti e stato perlustrate più di un settimo dell'intera rete dei canali dell'Oasi (743 m su di un totale di circa 5000 m), con uno sforzo di pesca complessivo di 325 ore che hanno portato alla cattura di un considerevole numero di capi (9.489) per un peso totale di quasi due quintali (Tab. 1).

Tab. 1 - Dati generali riguardanti i campionamenti e le catture.

Sforzo di pesca (espresso in ore)	325
Metri lineari perlustrati	743
% perlustrata del totale dei canali	15 %
Numero totale di capi catturati	9.489
Peso totale dei capi catturati (g)	199.324

In Tabella 2 viene mostrato 1'elenco delle 14 specie rinvenute, comprese in 6 ordini e 8 famiglie. I Ciprinidi sono predominanti con 7 specie, di cui 6 risultano limnofile. Sono state rinvenute 6 specie alloctone, tra cui il siluro e la pseudorasbora, oltre agli oramai diffusissimi carassio c pesce gatto.

Tab. 2 - Elenco delle specie catturate.

Ordine	*Famiglia*	*Specie*		
Anguilliformes	ANGUILLIDI	Anguilla	*Anguilla anguilla*	
Cypriniformes	CIPRINIDI	Alborella	*Alburnus (Alburnus) alborella*	
		Carassio dorato	*Carassius auratus*	(*)
		Carpa	*Cyprinus carpio*	
		Pseudorasbora	*Pseudorasbora parva*	(*)
		Scardola	*Scardinius erythrophthalmus*	
		Tinca	*Tinca tinca*	
		Triotto	*Rutilus erythrophthalmus*	
	COBITIDI	Cobite comune	*Cobitis taenia*	
Siluriformes	SILURIDI	Siluro	*Silurus glanis*	(*)
	ICTALURIDI	Pesce gatto	*Ictalurus melas*	(*)
Salmoniformes	ESOCIDI	Luccio	*Esox lucius*	
Cyprinodontiformes	PECILIDI	Gambusia	*Gambusia holbrooki*	(*)
Perciformes	CENTRARCHIDI	Persico sole	*Lepomis gibbosus*	(*)

(*) Specie alloctone

3.1. Parametri di accrescimento delle specie principali

Per le specie più abbondanti, quali la scardola, il triotto, il pesce gatto, il luccio ed il persico sole, sono stati ricavati i parametri delle funzioni di accrescimento di Von Bertalanffy e 1'indice di mortalità (Z) come mostrato in Tabella.3.

Tab. 3 - Parametri di accrescimento delle specie principali dove: L_∞= Lunghezza asintotica (mm); t_0= età convenzionale alla quale la lunghezza e nulla (anni); K= indice di accrescimento; Z= indice di mortalità.

specie	L_∞	t_0	K	Z
scardola	323	-0.61	0.196	1.19
triotto	170	0.11	0.60	2.3
pesce gatto	275	-0.11	1.45	0.7
persico sole	159	-0.11	0.41	0.42
luccio	1283	-0.10	0.17	0.8 / 4.3 (*)

(*) I due valori sono riferiti nell'ordine: agli individui adulti (età superiore a I anno) ed agli individui giovani (età inferiore a 1 anno)

3.2. Costruzione del modello

Per ottenere una stima quantitativa circa le consistenze relative delle diverse specie e stato costruito un modello teorico di popolamento partendo dai dati riportati (Tab. 4). I valori massimi stimati nei diversi campionamenti per le singole specie sono stati considerati, rispetto agli altri valori, la migliore espressione della situazione reale sulla base del principio pragmatico secondo il quale "ciò che e stato preso c'è, quello che non e stato preso poteva esserci, ma non e stato catturato per cause diverse".

Tab. 4 - Valori di densità numerica e ponderale medi ottenuti nei diversi campionamenti.

	VALORI NUMERICI (capi/m^2)				VALORI PONDERALI (grammi/m^2)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
SCARDOLA	2,8	2,6	0,04	0,04	36	23	0,6	0,6
TRIOTTO	1,5	1,3	0,07	0,16	27	17	1,5	3
PESCE GATTO	0,14	0,01	0,03	0,15	5	1	1,8	8
LUCCIO	0,01	0,06	0,05	0,007	8	7	3,1	4
PERSICO SOLE	0,08	0,02	0,003	0,005	1,4	0,2	0,06	0,09
ALBORELLA	0,03	0,003	0,003	0,004	0,2	0,02	0,01	0,02
CARASSIO	-	0,02	-	0,001	-	14	-	0,9
ANGUILLA	0,02	0,002	-	-	7	0,9	-	-
TINCA	0,01	0,005	0,0006	0,004	3	1,1	0,007	0,08
CARPA	0,002	0,006	-	0,001	2	11	-	1
PSEUDORASBORA	0,003	-	0,002	0,003	0,004	-	0,004	0,006
SILURO	0,001	-	-	-	10	-	-	-

Il modello quindi e stato costruito prendendo il valore massimo di densità per ogni specie tra. quelli ottenuti dai vari campionamenti ricavando un popolamento il più possibile complete (Tab. 5; Figg.l e 2).

Tab. 5 - Valori di densità numerica e ponderale relativi al modello.

		VALORI DENSITÀ NUMERICA (capi/m^2)	VALORI DENSITÀ PONDERALE (grammi/m^2)
SCARDOLA	**(Sc)**	2,8	36
TRIOTTO	**(Tr)**	1,5	27
PESCE GATTO	**(Pg)**	0,14	8
LUCCIO	**(Lu)**	0,06	8
PERSICO SOLE	**(Ps)**	0,08	1,4
ALBORELLA	**(Al)**	0,03	0,2
CARASSIO	**(Ca)**	0,02	14
ANGUILLA	**(An)**	0,02	7
TINCA	**(Ti)**	0,006	3
CARPA	**(Cp)**	0,006	11
PSEUDORASBORA	**(Pr)**	0,003	0,006
SILURO	**(Si)**	0,001	10

3.3. Analisi ittiologica

Il popolamento ittico rilevato nell'Oasi di Punte Alberete, caratterizzato da un numero elevato di specie (14), risulta tipicamente planiziale sia per 1'alto numero di ciprinidi, tutti limnofili, quali scardola, triotto, carpa, carassio, tinca e alborella, sia per la presenza di pesce gatto, luccio, persico sole, gambusia (quest'ultima presente in gran quantità), cobite comune e siluro (rinvenuti entrambi in unico esemplare).

Anche l'abbondanza relativa delle diverse specie rientra nel quadro di un tipico popolamento planiziale; infatti risulta che i ciprinidi limnofili da soli compongono il 93% in numero e il 71 % in peso delle catture.

Delle quattordici specie 8 sono autoctone e 6 alloctone, situazione che denoterebbe un certo degrado del popolamento ittico, se non fosse per il fatto che in termini quantitative gli alloctoni risultano solo il 5% in numero e il 21% in peso.

Tra le presenze alloctone notiamo la numerosissima gambusia (i cui dati di cattura non sono riportati, in quanto non rilevati con gli strumenti di pesca adottati), introdotta negli anni '20, in funzione antianofelica, e ambientatasi in modo discontinue nelle acque planiziali padane. La presenza di questa specie non è da sottovalutare nell'equilibrio generale dell'ambiente acquatico; la gambusia infatti avrebbe un forte impatto diretto ed indiretto sull'ambiente in cui vive, cibandosi di grandi quantità di zooplankton, di uova e larve di numerosi altri organismi, tra cui predatori naturali dei culicidi, favorendo 1'eutrofia c sottraendo ossigeno (Stella *et al.,* 1984).

Preoccupante e la cattura di un esemplare adulto di siluro, specie in forte espansione in tutto il bacino del Po, nel quale raggiunge densità anche elevate arrecando non pochi danni alla fauna ittica autoctona.

È stata rilevata altresì la presenza di pseudorasbora, specie di recente acquisizione per le acque interne italiane, segnalata per la prima volta nel 1988 (Sala & Spampanato. 1990) nei canali di bonifica delle province di Modena e Reggio, e da allora in areali sempre più vasti. Questa specie e stata stimata in densità molto basse, probabilmente per le dimensioni al limite della catturabilità e la disgiunzione tra siti di campionamento e ambienti frequentati dalla specie. La sua densità a Punte Alberete

sembrerebbe sottovalutata per il fatto che, durante una perlustramento con un retino a mano, in mezzo alla vegetazione acquatica di un chiaro, sono state catturate 19 pseudorasbore gravide e altri individui di diverse dimensioni per un totale di 47 capi (lunghezza minima 17 mm).

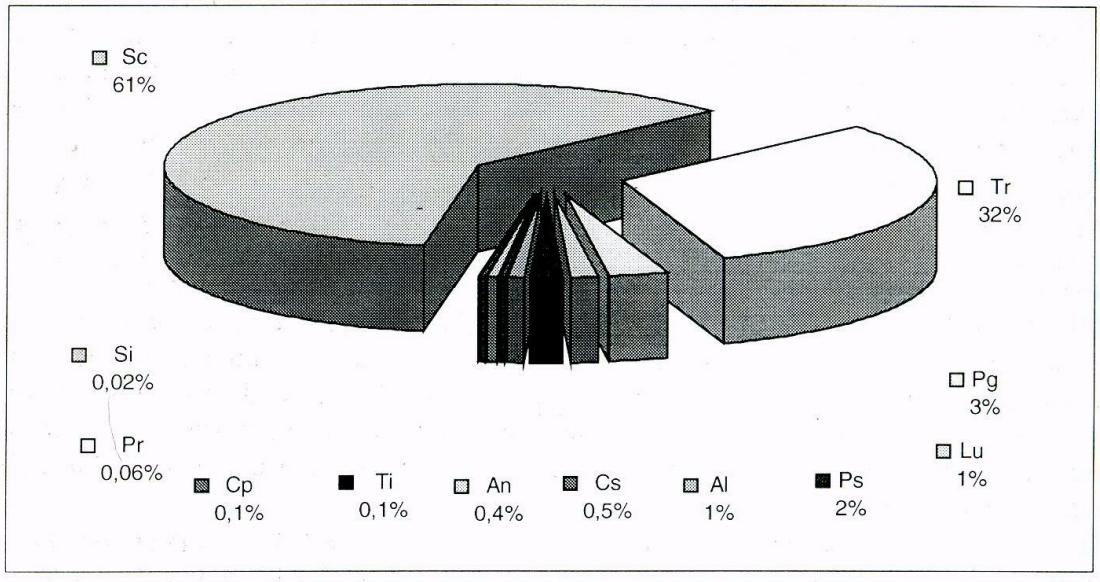


Fig. 1 - Composizione percentuale numerica del popolamento ittico di Punte Alberete ottenuta dalla stima del modello (il nome delle specie corrispondente alle sigle e riportato in Tab. *5).*

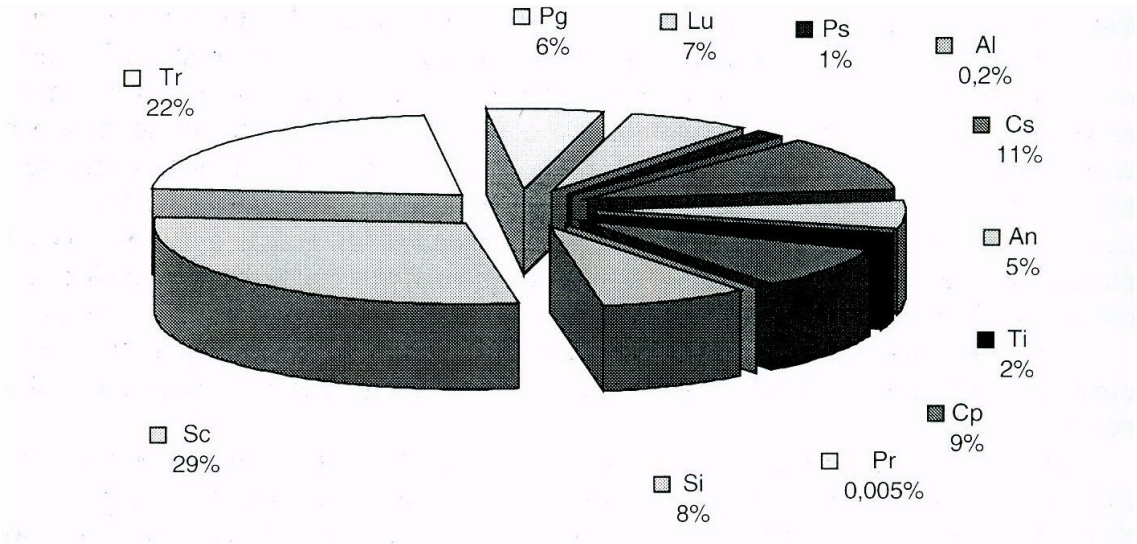


Fig. *2* - Composizione percentuale ponderale del popolamento ittico di Punte Alberete ottenuta dalla stima del modello (il nome delle specie corrispondente alle sigle e riportato in Tab. *5).*

3.4. Caratteristiche e dinamica di popolazione delle specie principali.

Per quanto riguarda i parametri della struttura e dinamica delle popolazioni delle specie principali che compongono il popolamento di Punte Alberete, sono state in generale riscontrate notevoli convergenze con i dati bibliografici relativi ad aree planiziali della regione padano-veneta, umbro-laziale cd anche europea.

La scardola ed il triotto presentano un'elevata velocita di accrescimento che indica un buon successo ecologico in questo ambiente. L'elevata mortalità per la scardola descrive la dinamica delle classi di età minore (0+; 1+); tale mortalità differenziale potrebbe essere dovuta a diverse cause quali: la competizione alimentare; la predazione differenziale da parte di specie ittiofaghe, soprattutto il luccio, che sembrerebbe incidere maggiormente sulle abbondanti coorti 0+ e 1+ piuttosto che su individui di maggiore taglia (Diana, 1979); gli stress ambientali, dovuti ai bassi tenori di ossigeno ed elevate temperature estive, potrebbero influire pesantemente sul novellame di questa specie. Le stesse motivazioni possono essere prese per spiegare 1'elevata mortalità del triotto.

Per il luccio, la velocita di accrescimento molto elevata, comparabile solo con i valori più alti riportati in letteratura, e 1'abbondanza relativa degli individui appartenenti alla classe 0+ sono un indice del buon successo riproduttivo della specie in questo ambiente, fatto non trascurabile visto il notevole recesso che sta subendo il luccio in molti ambienti fluviali e lacustri a causa della scomparsa dei siti di frega e della forte pressione alieutica.

Anche le elevate velocita di accrescimento e le buone strutture di popolazione di persico sole e pesce gatto denotano che questo ambiente risulta idoneo al successo riproduttivo di specie planiziali.

Svolgendo un confronto tra la fauna ittica rinvenuta nel tratto terminale del fiume Lamone (Melotti & Roncarati, 1992) e quella di Punte Alberete si può notare che all'interne di quest'ultima la presenza e 1'abbondanza delle singole specie e profondamente diversa. I casi più significativi e di maggiore rilevanza sono quelli della tinca e del luccio, specie in forte regresso sul territorio nazionale. Infatti mentre la prima risulta assente nel basso corso del Lamone ed il secondo addirittura mancante dall'intera asta fluviale, a Punte Alberete queste due specie sono presenti ed il luccio anche in densità relativamente elevate (0,06 capi/mq, 8 g/mq) in confronto a quella riportata per la provincia di Padova: 0,04 capi/mq e 17 g/mq (Turin *et al.,* 1995). Inoltre la struttura di popolazione del luccio indica il buon successo riproduttivo in questo ambiente.

Interessante e la ridotta presenza del carassio (0,5 % in numero), specie particolarmente abbondante nel Lamone, dove risulta infestante e molto ben ambientata. II fatto che non siano stati catturati individui giovani farebbe pensare che la presenza all'interno dell'Oasi sia dovuta eminentemente all'ingresso di esemplari adulti con la captazione delle acque dal fiume: analoghe considerazioni possono essere estese anche alla carpa.

Il triotto e la scardola, che nel tratto terminale del fiume risultano rispettivamente "scarso" ed "assente", all'interno di Punte Alberete sono le specie preponderanti.

Si può notare che il popolamento ittico presente a Punte Alberete risulta nel suo complesso peculiare anche rispetto a quello di altri ambienti planiziali. La situazione del Lago Trasimeno (Mearelli *et al.,* 1987) riporta infatti la tinca come predominante, il triotto in scomparsa c specie esotiche, quali carassio e pesce gatto, in netto aumento. Per

il lago artificiale di Bubano (Imola) (Zaccanti *et al,* 1998) viene riportato un popolamento dominate dalla presenza di carassio, scardola e persico reale. La composizione ittica dei canali di bonifica della provincia di Bologna (Rizzoli *et al.,* 1991) si mostra notevolmente degradata, con il carassio nettamente predominante, seguito dal pesce gatto e dalla scardola: in questi ultimi due ambienti il luccio non e presente e la tinca compare saltuariamente nei canali Bolognesi.

Per formulare un giudizio sulla qualità dell'ambiente acquatico di Punte Alberete, usando il popolamento ittico come indicatore, elementi positivi sono costituiti dalla presenza di un elevato numero di specie, tra cui il luccio e la tinca, e dalla bassa percentuale di alloctoni in termini quantitativi, di cui alcuni apparentemente non riproducentisi (carassio e siluro). Elementi negativi sono invece 1'elevato numero di specie alloctone e l'indice di Shannon relativamente basso (1,2)

La dominanza della scardola, che contribuisce ad abbassare l'indice di diversità biologica, e correlabile agli elevati livelli di trofia delle acque (classificabili "ipertrofiche" in base alle concentrazioni del fosforo: 0,2 mg/1) paragonabili a quelle riscontrate nel delta del Po (Alessio & Gandolfi, 1983), nel lago di Comabbio (Jamet & Garavaglia, 1989), nel lago di Ragogna (Dolce *et al.,* 1985). Generalmente 1'elevato grado di trofismo si collega a stati di inquinamento, a popolamenti ittici con un basso numero di specie e a prevalenza di unita sistematiche alloctone ad ampia valenza ecologica, come il carassio, il pesce gatto o il persico sole. Questo pero non accade a Punte Alberete, probabilmente poiché la buona qualità delle acque (classe II, mediante metodo E.B.I.; Bandini & Pandolfi, 1992; Bandini *et al.,* 1997), consente la presenza di un numero elevato di specie, anche di quelle più sensibili, e pone in condizioni di vantaggio gli autoctoni rispetto agli alloctoni. A questo proposito si nota infatti che i primi, in termini quantitativi, sono nettamente preponderanti sui secondi. Le popolazioni delle specie autoctone, in questa situazione di elevata qualità delle acque, sembrano essere in grado di mantenere la loro dominanza sulle specie alloctone, limitandone 1'espansione.

BIBLIOGRAFIA

Alessio G. & Gandolfi G. 1983. Censimento e distribuzione attuale delle specie ittiche nel bacino del fiume Po. *Quaderni Ist. Ric. Acque,* 67: VII + 92 pp.

Bandini F., Bazzi A., Ballardini D., Giaquinta S., Castellari C., Minghetti A., Savelli G., Setti R. & Venieri L. 1997. Studio delle capacita fito-depurative degli ambienti lagunari, Punte Alberete. Pubblicazione A.R.P.A. Sezione provinciale di Ravenna.

Bandini F. & Pandolfi M. 1992. Effeti della fitodepurazione e popolamento macro-bentonico nell'Oasi di Punte Alberete (RA) rilevati con il metodo dell'E.B.I. (Extended Biotic Index). Tesi di laurea. Università degli Studi di Urbino.

Diana J.S. 1979. The feeddig pattern and daily ration of a top carnivore, the northern pike *(Esox lucius). Can. J. Zool.,* 57: 2121-2127.

Dolce S., Speechi M. & Del Piero D. 1985. 11 Lago di Ragogna. Note sul popolamento ittico. Ente tutela pesca del Friuli-Venezia Giulia. *Quaderni ETP, rivista di limnologia* 11: 73-79.

Gandolfi G., Zerunian S., Torricelli P. & Marconato A. 1991. I pesci delle acque interne italiane. Ministero dell'Ambiente, Unione Zoologica Italiana. *Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.* Roma.

Jamet J.L. & Garavaglia C. 1989. Accrescimento e riproduzione della scardola *(Scardinius erythrophlalmus* L., Pisces: Cyprinidae) nel Lago di Comabbio, un lago eutrofo del nord Italia (Provincia di Varese). *Atti Soc. Ital Ecol.* 7: 325-329.

Mearelli M., Giovinazzo G. & Mantilacci L. 1987. Andamento e gestione della pesca nel lago Trasimeno. Biologia e gestione dell'ittiofauna autoctona. Atti 2° convegno A.I.I.A.D.: 227-237.

Melotti P. & Roncarati A. 1992. Provincia di Ravenna. Elementi di base per la predisposizione della carta ittica regionale. Regione Emilia-Romagna, Assessorato Agricoltura e Alimentazione.

Pauly D. 1980. The use of pseudo catch curve for the estimation of mortality rates in *Leiognathus splendens* (Pisces, Leiognathidae) in western Indonesian wathers. *Meeresforsh,* 28: 56-60.

Pauly D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators.- I.C.L.A.R.M. Manila, Filippine.

Rizzoli M., Zaccanti F. & Ferrari G. 1991. Distribuzione e dinamica del popolamento ittico dei canali di bonifica della provincia di Bologna. Atti del 4° congresso A.I.I.A.D., Riva del Garda., (Trento): 219-229.

Sala L. & Spampanato A. 1990. Prima segnalazione di *Pseudoraskora purva* (Schlegel, 1942) in acque interne italiane. *Riv. Idrobiol., 29* (1): 461-467.

Shannon C.E. & Weaver W. 1949. The mathematical Theory of comunication. The University of Illinois Press, Urbana, IL: 19-27, 82-83 e 104-107.

Stella E., Di Girolamo L, Dell'uomo G. & Rivosecchi L. 1984. Osservazioni sulla distribuzione di *Gambusia affinis* (Baird e Girard, 1854) negli ambienti umidi naturali di Castel Porziano a 20 anni dalla loro immissione. *Riv. Idrobiol.,* 23 (2-3).

Turin P., Zanetti M., Loro R. & Bilò M.F. 1995. Carta ittica della provincia di Padova Provincia di Padova.

Zaccanti F., Dal Piaz D. & Vallisneri M. 1998. Ichtyofauna of lake of Bubano. *Memorie dell'Istituto Nazionale di Idrobiologia* (in stampa).

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 217-226, luglio 2000

SEASONAL VARIATIONS OF SEA-WATER TEMPERATURE AT SHALLOW-WATER HYDROTHERMAL VENTS IN MILOS ISLAND (AEGEAN SEA): SOME FLORISTIC REMARKS

ALIANI Stefano[1], DE BIASI Anna Maria[2], AMICI Luca[1], MELONI Roberto[1]

[1]CNR IOF - Forte S. Teresa 19036 Pozzuolo - La Spezia - Italy
[2]Centro Interuniversitario di Biologia Marina P.le Mascagni 1 - 57127 Livorno - Italy

ABSTRACT

Seasonal variability of water temperature at hydrothermal vent sites had been described focussing on the relationships with the species composition of algal assemblages. Seawater temperature had been measured within the active Bay of Palaeochori bay with gasohydrothermal vents, and in control sites outside of the Bay. Macroalgae samples were collected in June 1996. Some differences in monthly average temperature were measured. In winter minima of temperature were remarkable stronger in control than in active area. Floristic assemblages within the Bay were dominated by thermophilous species (20% of total species) and *Stypopodium schimperi,* a Lessepsian species, was extremely abundant. The knowledge of the role of shallow water hydrothermal vents in marine environment needs improvements.

RIASSUNTO

Influenza delle sorgenti idrotermali superficiali dell'isola di Milos (Mar Egeo) sulle variazioni stagionali di temperatura dell'acqua di mare: alcune considerazioni floristiche

L'idrotermalismo marino si presenta tipicamente con emissioni di gas ed acqua calda la cui propagazione nell'ambiente circostante ne modifica le caratteristiche fisico-chimiche tanto da essere considerato un esempio di habitat estremo. In questo lavoro vengono descritti gli effetti di hydrothermal vents superficiali sulla variabilità stagionale della temperatura dell'acqua marina ed alcune modificazioni indotte sui popolamenti algali bentonici. Lo studio è stato condotto a Milos, isola appartenente all'Arcipelago delle Cicladi (Mar Egeo meridionale), in quanto sede di intensa attività idrotermale. I dati sono stati raccolti nella baia di Palaeochori situata a sud-ovest dell'isola: la temperatura e stata misurata tramite sensori montati su due mareografi - all'interno della baia di Palaeochori ed in un'altra baia nelle vicinanze ma priva di vents - rilevando un dato ogni 30'. I campioni della flora bentonica sono stati prelevati nel giugno 1996, in 6 stazioni. La temperatura media della baia con sorgenti idrotermali rispetto a quella della baia senza sorgenti subisce variazioni relativamente meno marcate di quelle riscontrate

nei minimi invernali che risultano maggiori all'interno rispetto all'esterno della baia di Palaeochori.

La componente algale risulta caratterizzata dalla presenza di un elevate numero di specie termofile (oltre il 20%). Fra queste. si sottolinea la presenza di *Stypopodium schimperi* (Buchinger *ex* Kützing) Verlaque *et* Boudouresque specie lessepsiana rinvenuta particolarmente abbondante nei siti con attività termale.

La segnalazione di queste specie suggerisce che e necessaria una revisione dei ruoli che le risorgenze idrotermali potrebbe svolgere nell'ecosistema marino.

1. INTRODUCTION

Shallow water hydrothermalism is typically characterised by gas bubbles and hot water outflows. Temperature at shallow sites is not as strong as in the deep sea vents, where can reach 300°C (Tunnicliffe *et al.,* 1990), but is definitely higher than the surrounding environment reaching about 100°C at the sediment surface (Dando *et al.,* 1995).

Temperature represents one of the most widely used hydrothermal tracers in the sea water (Chevaldonné *et al.,* 1991) because it can be monitored more easily than chemicals. In addition, its knowledge allows to control the dilution of the hot water coming From vents and to explain some modifications on composition and distribution of the biological communities (Tunnicliffe *et al.,* 1990; Dando *et al.,* 1995).

Although dilution rates of temperature are poorly known (Johnson *et al.,* 1988) the consequences of hot venting on the surrounding habitat are so strong that hydrothermal systems are considered extreme habitats (Vanreusel *et al.,* 1997) with high variability of the physical-chemical parameters that can induce changes in benthic communities (Tarasov *et al.,* 1999).

Most studies at shallow vent sites mainly concern macrobenthic infauna (Thicrmann *el al.,* 1997; Gamenick *et al.* 1998) and faunal communities of rocky substrata (Cocito *et a!.,* 1999). Phytobenthic assemblages at vent sites are far less known both in the Aegean (Sartoni & De Biasi, 1999) and in other part of the Mediterranean sea (Acunto & Rindi, 1997).

This paper describes the seasonal variations of the sea-water temperature close to shallow hydrothermal vents and the effects on the benthic algal flora off Milos, an Island situated in the Northwest part of the Sea of Crete (Kyklades Archipelago, Aegean Sea), one of the seismically most active regions on earth (Makropoulos & Burton, 1984).

2. MATERIALS AND METHODS

Time series of seawater temperature were collected, from June 1996 to June 1997, by sensors Fenwall GB 32JM19 positioned within Aanderaa WLR7 depth gauges. One instrument was deployed from mid-June 1997 to mid-June 1997 on the seabed in Palaeochori Bay. a sandy bay situated in the Southeast part of Milos where strong hvdrothermal activity was observed. Instrument was about 40 m from the closest known

vent source. As a control, another instrument was moored in the nearby bay to the East of Palaeochori for the period June-September 1996 and in Pollonia Bay for the period September 1996-.lune 1997. In these last bays no vent activity had ever been reported. Temperature data were collected every 30 minutes with an accuracy of ±0.1 °C. Position of loggers is reported in Fig. 1.

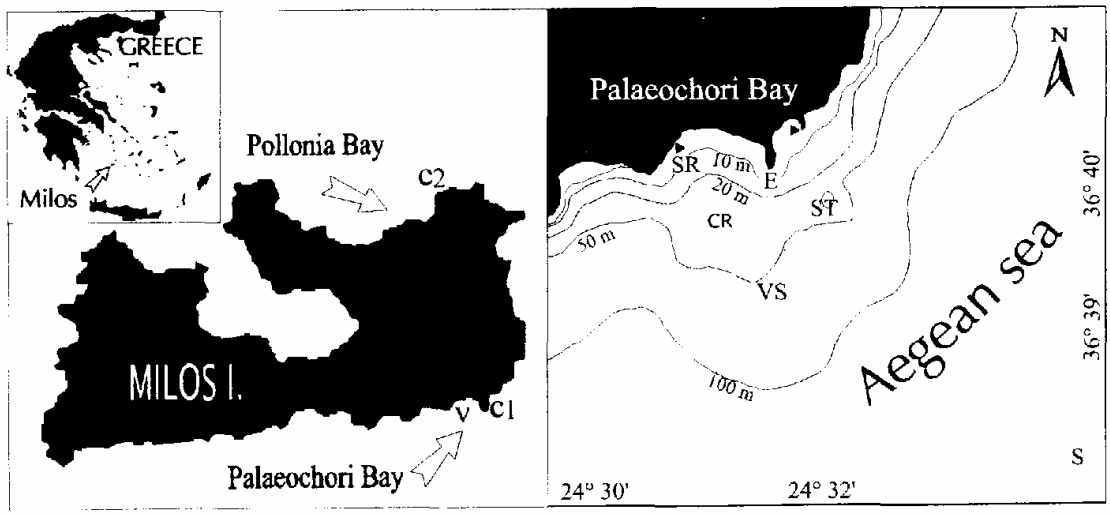


Fig. 1 - Map of Milos Island and Palaeochori Bay (Aegean Sea). Letters indicate the position of the instruments in the active bay of Palaeochori (v), in the nearby bay (c1) and in Pollonia Bay (c2). The position of the offshore rocky shoal is indicated by the letter S. Arrows give an approximate indication of the main direction of water currents according to Aliani & Bergamasco (1999). Strong currents flows south-westward between site S and the coast. Weaker currents with local recirculation occur on the shelf to the south of Milos. SR. VS. CR. ST. C, S are stations were algae were taken into account.

Fourteen qualitative samples of benthic epiflora were collected in Palaeochori bay. in June 1996. snorkelling and diving, at six rocky sites: CR (between 26 and 30 in depth), VS (45 m depth). SR (between 1 and 12 in depth) where continuous emission was observed, and sites E (11 m depth), ST (9 m depth) and S (15 to 40 m depth) the lust about 3 miles offshore, without any vent activity. Samples were collected by hand or scraping with hammer and chisel when necessary. The material has been preserved in 5% buffered formalin in seawater. Quantitative estimates of covering values of the conspicuous species were obtained by photo-samples collected in sites CR, E, S, ST. A large-scale survey concentrated on conspicuous species was also performed snorkelling in di Ik-rent sites of the island.

3. RESULTS

3.1. Temperature time series

Instruments collected data for one year. The monthly averaged values of sea water temperature inside and outside Palaeochori Bay, minimum, standard deviation and the differences between them are reported in table 1.

Tab. 1 - Average values, minimum and standard deviation of sea water temperature inside and outside Palehori Bay.

	Mean			Min			Stdev		
	inside	outside	in-out	inside	outside	in-out	inside	outside	in-out
Jun-96	21.6	21.7	-0.1	20.2	20.0	0.2	1.14	1.26	-0.1
Jul-96	23.3	23.4	-0.1	21.7	21.6	0.1	0.96	1.02	-0.1
Aug-96	23.5	23.7	-0.2	22.2	22.4	-0.2	0.53	0.57	0.0
Sep-96	23.8	23.3	0.5	22.3	21.8	0.5	0.41	0.60	-0.2
Oct-96	21.7	20.8	0.9	19.8	17.6	2.2	0.78	1.33	-0.6
Nov-96	19.0	18.4	0.6	17.6	16.4	1.2	0.58	0.73	-0.2
Dec-96	17.2	16.2	0.9	16.1	13.0	3.1	0.36	0.81	-0.5
Jan-97	16.3	15.2	1.0	14.9	12.4	2.5	0.33	1.07	-0.7
Feb-97	15.5	14.5	1.0	14.6	11.2	3.4	0.25	1.13	-0.9
Mar-97	15.2	14.5	0.8	14.4	12.1	2.3	0.20	1.15	-1.0
Apr-97	15.4	15.3	0.0	14.8	11.6	3.2	0.31	1.26	-1.0
May-97	17.9	19.0	-1.1	15.5	14.7	0.8	1.67	2.17	-0.5
Jun-97	21.0	21.5	-0.5	19.7	19.7	0.0	0.44	0.96	-0.5

Comparable values of seawater temperature were recorded during summer 1996 and the mean temperature in the active bay was slightly colder (0.1 °C) than the control.

At the end of the summer, monthly averaged temperature inside the bay got warmer than control: in September active bay was 0.5 °C warmer and in mid-winter was 1°C warmer. From spring 1997a pattern similar to the previous years can be inferred, and it got more evident at the beginning of summer.

With the new warm season the temperature trend in the active bay behaved as in the previous year but unfortunately the series ended before the summer and complete overlap with 1997 data was not possible. The difference in minimum values was remarkable. Minima were stronger in the active bay and the difference was high being up to 3.4 °C in February 1997.

These strong differences only partly depended on the lower mean temperature of the active bay in winter: standard deviation, that was higher in the control, indicated that strong episodic events were able to produce abrupt reduction in the water temperature at control. A similar pattern did not take place in the active bay. Superimposing temperature series of active and non active Bay both in summer 1996 and winter 1997 showed that temperature in the active bay had reduced fluctuations, resulting more stable than outside. The range of fluctuation was remarkably higher in winter (Fig. 2).

3.2. The algal flora

A total of 83 taxa were identified in the 14 benthic samples collected in Palaeochori Bay and surrondings, comprising 36 Rhodophyceae, 33 Fucophyceae. 13 Chlorophyceae and 1 Tribophyceae (for the complete list see Sartoni & De Biasi, 1999).

Many the species collected represent the first record at Milos *(Amphiroa crvptarthrodia* Zanardini, *Amphiroa verruculosa* Kützing. *Beckerella mediterranea* H. Huvé. *Boiryocladia boergesenii* J. Feldmann. *Corallophila cinnabarina* (Grateloup *ex* Bory de Saint-Vincent) R.E. Norris, *Cruoria cruoriaeformis* (P.L. *et* H.M. Crouan) Denizot. *Laurencia microcladia* Kützing, *Beckerella mediterranea* H. Huvé, *Zonaria*

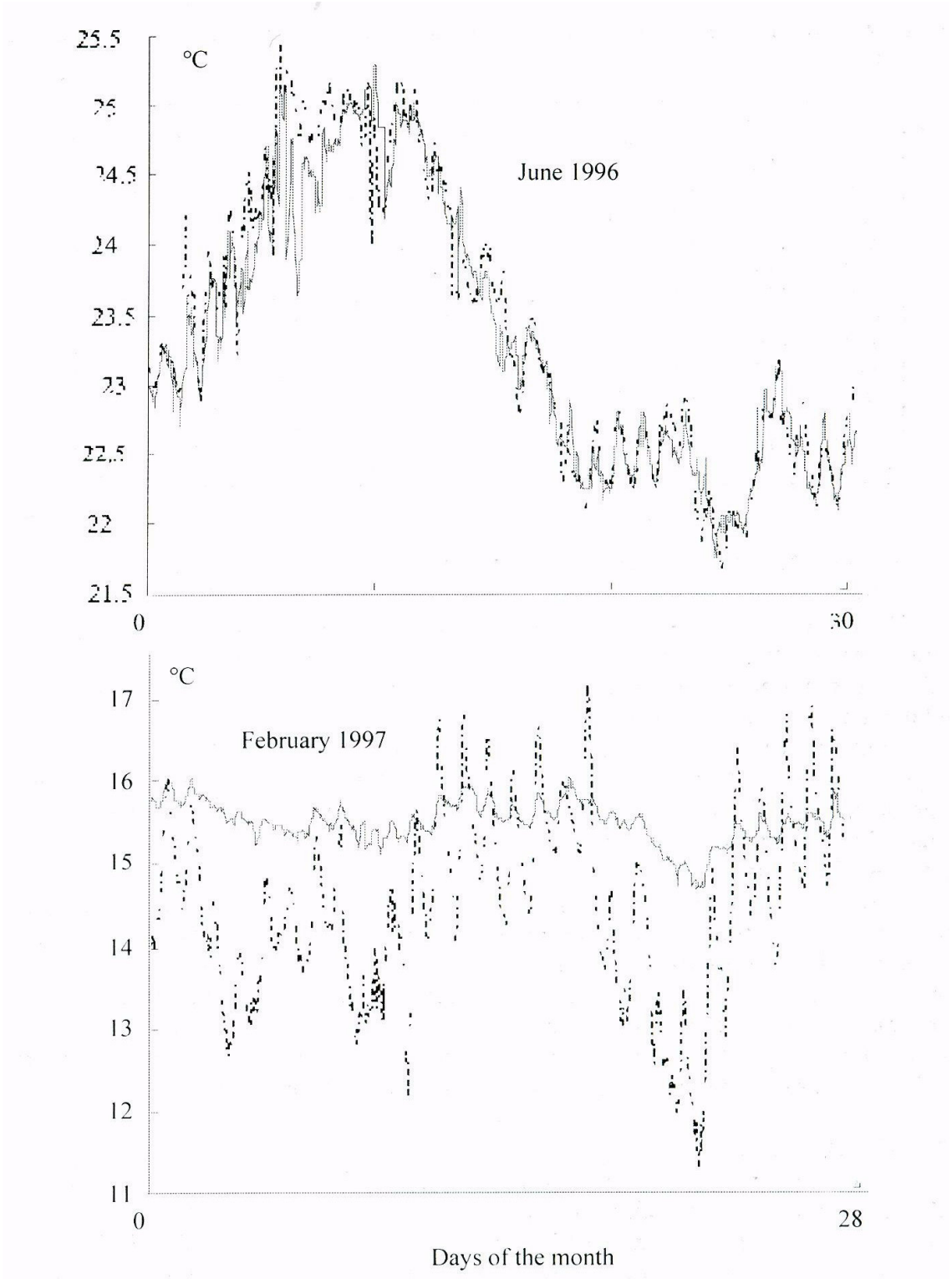


Fig. 2 Plot of time series of seawater temperature in Palaeochori Bay (continuous line) and in the control site (dotted line). One temperature record was every 30 minutes. In winter the range of temperature fluctuation was remarkably small in the active bay.

tournefortii (Lamouroux) Montague, *Codium bursa* (Linnaeus) C. Agardh, *Tribonema marinum* J. Feldmann).

Most of these new records included deep-water species and species growing as epiphytes on the larger algae such as *Beckerella mediterranea* H. Huvé and *Sargassum acinarium* (Linnaeus) Setchell.

Remarkable from the ecological point of view was the presence of a large number of species with warm-water affinities (*Stypopodium schimperi* (Buchinger *ex* Kützing) Verlaque *et* Boudouresque, *Microdictyon tenuius* Decaisne *ex* J. Gray, *Halopithys incurva* (Hudson) Batters, *Jania adhaerens* Lamouroux). These species, which represented over the 41% of the total flora, widely occurred both in vent and non-vent sites and even in the site S where the influence of the hydrothermal activity was not remarkable (Tab. 2).

Tab. 2 - Percentage (averaged values) and standard deviation (SD) of thermophilous species recorded in each site. (-) = no replicate samples.

SITE	AVG	SD
SR	26.0	8.5
VS	44.7	4.4
CR	45.3	13.5
E	41.2	-
ST	12.3	-
S	50.5	7.8

This result is only partly confirmed by data from the photographs. This last method resulted unsuitable to a complete characterisation of the algal community because it allowed identifying only conspicuous species underestimating most of small sized or cryptic species. On the contrary it allowed to detect some quantitative information about the large sized specie *Stvpopodium schimperi* (Buchinger *ex* Kützing) Verlaque *et* Boudouresque.

This brown alga is an interesting example of the Lessepsian migration (Verlaque & Boudouresque. 1991). After its first report along the Syrian coastline (Mayhoub & Billard, 1991: *S. zonale),* it has been reported from Cyprus and along the Turkish coasts (Verlaque & Boudouresque, 1991), where it was collected in a short bathymetric range, between 5 to 10 m depth. In Palacochori Bay. the first and westernmost record to date in the Mediterranean Sea. this species showed a wider bathymetric distribution, between 15 and 41 m depth. It was recorded on substrata with different slope and exposition, but its cover values were very different in vent and non-vent sites. In non-vent sites and in the site S - that is far outside the bay - it was recorded with a patchy distribution and with low cover values (from *2* to 5 %). On the contrary in vent sites this species was widely distributed with covering values over 25%. *S. schimperi,* although easily detectable also by snorkel-ling, was not found outside the active bay but at the shoal about 3 miles offshore Milos (S).

4. CONCLUSIONS

Studies on shallow water vents demonstrated that evident anomalies in temperature are limited to the nearby surroundings of vents (Fitzsimmons *et al.*, 1997; Aliani *et al.,* 1998a; Robinson *et al.,* 1997) and they cannot be detected without small scale sampling design. In this study anomalies in the seawater temperature had been detected at the bay scale comparing temperatures inside and outside Palaeochori bay. Differences recorded in seawater temperature were not very high if compared to the extremely high temperature of sediments at vent sites (Dando *et al.* 1995; Aliani *et al.,* 1998b) but increased winter minima and reduced fluctuations of temperatures had been recorded.

Studies on abiotic features (Pichler *el al.*. 1999) and on benthic communities have demonstrated significative effects of volcanisms on the marine environment can be detected only at small scale and/or in presence of reduced water movement (Kamenev *et al.,* 1993). This was confirmed by the distribution of seagrass meadows that were widely distributed in the sandy sediments of Palaeochori Bay but disappeared few meters distance from vents where sediment temperature was 2.5°C higher than ambient (Aliani *et al.,* 1998b).

A number of algal species with warm-water affinities had been recorded in the active bay parallel to warm anomalies in the seawater temperature. Some of these species are new records for this part of the Aegan and, apart from the active Bay of Palaeoehori, they were not detected during our surveys around the island despite large size of some of them, e.g. *Stypopodium schimperi.* Its large occurrence in vent areas with high cover values cannot be considered just a chance and their possible dependence on temperature anomalies need to be taken into account.

The input of these species in the Aegean waters can be supported by mesoscale circulation patterns in the Sea of Crete. Studies on the hydrology of the sea of Crete (Zodiatis, 1992; POliM group, 1992; Roether *el al.,* 1996) report a vein of warm water flowing along the northern part of the basin from Fast to West. This warm vein is consistent with the migration process of thermophilous species across the Aegean. The only area, apart from Palaeochori Bay, where *S. schimperi* had been found is the site S (about 3 miles offshore) where it colonised small areas and never showed high level of cover.

Measurements of water current direction collected between S and the coastline do not support the hypothesis of transport from the Bay toward this offshore site. Major current direction was south-westward and quite strong at the surface in the passage. Local recirculations with some northward components were observed on the shelf to the South of Milos (Aliani & Bergamasco, 1999). This hydrodynamic pattern is consistent with the hypothesis that site S acted as a first settling area for migration. Ecological constrains there . however, were not suitable enough to make *S. schimperi* a dominant species. On the contrary, inside the bay. and above all in vent sites, *S. schimperi* was very conspicuous and able to shape the physiognomy of the epibenthic assemblages. The sea water temperature in the vent area was slight warmer but, more important, temperature was more stable without major strong minima that may act, especially in winter, as a limiting factor for the life of warm water species. This peculiar situation

evidences the importance of coupling biological with physical aspects (Aliani & Meloni. 1999) and suggests that the present knowledge of the role of shallow water hydrothermal vents in coastal marine ecosystem needs improvement.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are indebted to F. Degl'Innocenti, Cocito S. and A. Peirano (La Spezia, Italy), which helped in field work and G. Sartoni (University of Florence, Italy) which identified the algae. C. Morri (Geneva, Italy) and C.N. Bianchi (La Spezia) made this paper possible. We also wish to thank P. Dando (Bangor, UK) for co-ordinating the project and the group of the University of Patras (Greece) for logistic support. This work has been funded by the F.C project "Hydrothermal fluxes and biological production in the Aegean" under contract MAS3 CT-950021.

REFERENCES

Acunto S. & Rindi F. 1997. Variabilità spaziale di popolamenti fitobentonici in relazione ad attività idrotermali nella baia di Levante dell'isola di Vulcano (Isole Kolie): studio preliminare. *Bio. Mar. Medit.,* 4(1): 351-352.

Aliani S. Amici I., Dando P.R. & Meloni R. 1998a. Time series of water pressure and bottom temperature in a marine shallow water hydrothermal vent of Milos Island (Aegean Sea): preliminary results. Rapp. Comin. Int. Expl. Sc. Mèr Médit., 35 (2): 46-47.

Aliani S. & Bergamasco A. 1999. Coastal current variability in a hydrothermal vent off Milos Island (Aegean Sea). Atti XII Congr. AIOL, 13 (1): 181-187.

Aliani S., Bianchi C.N., Cocito S., Dando P.R., Meloni R., Morri C., Niemeyer A., Peirano A. & Ziebis W. 1998b. A map of seagrass meadows in Palaeochori Bay (Milos Island. Greece), a marine area with hydrothermal activity. Rapp. Comm. Int. Rxpl. Sc. Mèr Médit., 35 (2): 512-513.

Aliani S, & Meloni R. 1999. Dispersal strategies of benthic species and water current variability in the Corsica Channel (Western Mediterranean) *Scientia marina,* 63 (2): 137-145.

Chevaldonne P., Dcsbruyères D. & Le Haitre M. 1991. Time series of temperature from three deep-sea hydrothermal vent sites. *Deep Sea Res.,* 38(11): 1417-1430.

Cocito S. Bianchi C.N., Morri C. & Peirano A. (in press). First survey of the sessile communities on subtidal rocks in an area with hydrothermal vents: Milos Island, Aegean Sea. *HyJrohiologia.*

Dando P.R.. Hughes J.A., Leahy Y. Niven S.J., Taylor R.J. & Smith C. 1995. Gas venting rates from submarine hydrothermal areas around the island of Milos, Hellenic Volcanic Arc. *Cont. Shelf Res.,* 15 (8): 913-929.

Fitzsimons M.F., Dando P.R., Hughes J.A., Thiermann F., Akoumianaki I. & Pratt S.M. 1997. Submarine hydrothermal brine seeps off Milos. Greece: observations and geochemistry. *Mar. Chem.,* 57: 325-340.

Gamenick 1.. Abbiati M. & Giere O. 1998. Field distribution and sulphide tolerance of *Cupitella capitata* (Annellida Polychaeta) around shallow water hydrothermal Vents off Milos (Aegean Sea). A new sibling species? *Mar. Biol.,* 130: 447-453.

Johnson K.S.. Childress J.J. & Beehler C.L. 1988. Short-term temperature variability in the Rose Garden hydrothermal vent field: an unstable deep-sea environment. *Deep Sea Res.,* 35 (10/11): 1711-1721.

Kamenev G.M.. Fadeev V.I.. Selin N.I.. Tarasov V.G. & Malakhov V.V. 1993. Composition and structure of macro and meiobenthos around sublittoral hydrothermal vents in the Bay of Plenty. New Zealand. *New Zeal. J. Mar. Fresh. Res., 21:* 407-41 8.

Makropoulos C. & Burton P.W. 1984. Greek tectonics seismicity. *Tectonophysics.* 106: 275-304.

Mayhoub II. & C. Billard. 1991. Contribution a la connaissance d'un *Slypopodium* (Dictyotales. Phaeophyceae) installe recemment sur les cotes syriennes. *Cryptogamie Algologie.* 12: 125-136.

Pichler T., Veizer J.G.E. & Hall M. 1999. The chemical composition of shallow water hydrothermal fluids in Tutum Bay. Ambitle Island, Papua New Guinea and their effect on ambient sea water. *Mar. Chem.,* 64: 229-252.

POEM group. 1992. The general circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth Science Rev., 32: 285.*

Robinson C., Ziebis W., Muller S., Eiehstadt K.. Dando P., Linke P.. Varnavas S., Megalovasilis P. & Panagiotaras D. 1997. In situ investigations of shallow water hydrothermal vent systems, Palaeochori Bay, Milos, Aegean Sea. *Newcastle upon Tyne Society for Underwater Technology:* 85-100.

Roether W.. Manca B., Klein B., Bregant D., Georgopulos D., Kovaeecic V. & Lucchetta A. 1996. Recent changes in Eastern Mediterranean deep water. *Science,* 227:333.

Sartoni G. & De Biasi A.M. 1999. A survey of the marine algae of Milos island, Greece. *Cryptogamie Algologie,* 20 (3): 271-283.

Tarasov V.G.. Gebruck A.V., Shulkin V.M., Kamenev G.M., Fadeev V.I., Kosmynin V.N., Malakhov V.V. Starynin D.A. & Obzhirov A.I. 1999. Effects of shallow water hydrothermal venting on the biota of Matupi Harbour (Rabaul Caldera, New Britain Island, Papua New Guinea). *Cont. Shelf Res.,* 19: 79-116.

Thiermann F., Akoumianaki I., Hughes J.A. & Giere O. 1997. Benthic fauna of a shallow-water gaseohydrothermal vent area in the Aegean Sea (Milos, Greece). *Mar. Biol.,* 128: 149-159.

Tunnicliffe V., Garrett J.F. & Johnson P.H. 1990. Physical and biological factors affecting the behaviour and mortality of hydrothermal vent tubeworms (vestimentiferans). *Deep Sea Res.,* 37 (1): 103-125.

Vunreusel A.. Van den Bossche I. & Thiermann F. 1997. Free-living marine nematodes from hydrothermal sediments: similarities with communities from diverse reduced habitats. *Mar. Biol. Prog. Ser.,* 157: 207-219.

Verlaque M. & Boudouresque C.F. 1991. *Stypopodium schimperi* (Buchinger *ex* Kützing) Verlaque *et* Boudouresque comb. nov. (Dictyotales, Fucophyceae),

algue de Mer Rouge récemment apparue en Méditerranée. *Cryptogamie Analogic,* 12: 195-211.
Zodiatis G. 1992. On the seasonal variability of the water masses circulation in the NW Levantine Basin - Cretan Sea and flows through the eastern Cretan Arc Straits. *Annales geophysicae,* 10: 12-24.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 227-236, luglio 2000

IL LABORATORIO INTEGRATO DI TELE RILEVAMENTO LASER DELLE ACQUE MARINE: RISULTATI DELLA XIII CAMPAGNA OCEANOGRAFICA ANTARTICA

Roberto BARBINI, Francesco COLAO, Roberta FANTONI, Antonio PALUCCI, Sergio RIBEZZO

ENEA, Dip. INN-F1S, CR Frascati (Roma)

ABSTRACT

The ENEA mobile lidar fluorosensor laboratory, installed on board of the R/V Italica, has participated to the multi-disciplinary Oceanographic Campaign within the XIII Italian Antarctic Mission (nov.'97-jan'98). Sea water quality parameters (phyto-plankton concentration, DOM, turbidity) and the photosynthetic efficiency (related to biomass productivity) have been monitored both remotely and in-situ, across the Ross sea and along the Southern Ocean transect from Terra Nova Bay to Dunedin (New Zealand).

RIASSUNTO

Il laboratorio mobile lidar fluorosensore dell'ENEA, installato a bordo della M/V Italica, ha partecipato alla Campagna Oceanografica nell'ambito della XIII[a] Missione Italiana in Antartide (nov.'97-gen.'98). I parametri di qualità dell'acqua marina (concentrazione di fitoplancton, DOM, turbidità e 1'efficienza di fotosintesi che permetta la stima della produttività della biomassa) sono stati monitorati e stimati sia remotamente che *in situ,* attraverso il Mare di Ross e lungo il transetto dell'Oceano Meridionale da Baia Terra Nova a Dunedin (New Zealand).

1. INTRODUZIONE

Gli ecosistemi marini sono in generale caratterizzati dai produttori primari di plancton autrofico i quali a loro volta determinano lo sviluppo degli altri organismi superiori che si cibano di alghe. Questi ambienti sono ovviamente influenzati dalle caratteristiche chimico fisiche (salinità, DOM e nutrienti) e climatiche (temperatura, irradianza solare a diverse lunghezze d'onda) delle acque. II Mare di Ross e un particolare ecosistema marino che presenta fasi evolutive dinamiche molto rapide durante lo scioglimento dei ghiacci con formazione di blooms fitoplanctonici, particolarmente nelle zone di polynya, che ne modificano localmente la produttività. Il plancton, presente

nelle sue diverse specie di pico, nano e micro, e a sua volta la prima preda della catena alimentare che passa dal krill, ai pesci, ai mammiferi come le orche e le balene, fino agli uccelli. Conseguentemente e di estremo interesse utilizzare e sviluppare metodiche di analisi che abbiano la possibilità di ottenere il maggior numero di informazioni, anche continue, su un numero elevato di campioni. In questo modo e possibile ottenere un quadro quasi sinottico dettagliato delle acque attraversate dalla nave durante la campagna oceanografica, e i dati, riportati su mappe tematiche a falsi colori, permettono di evidenziare la presenza o meno di particolari indicatori marini (pigmenti algali, sostanze disciolte o sospese di origine naturale o inquinanti), al fine di comprendere meglio l'ecosistema in oggetto.

Il laboratorio di Telerilevamento laser del Centro Ricerche dell'ENEA di Frascati partecipa al Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA), Area Tematica Sensoristica, per lo sviluppo di un apparato lidar fluorosensore adatto al monitoraggio remoto e automatico della qualità delle acque e del fitoplancton. L'esperienza acquisita nello sviluppo di sistemi laser per diagnostiche ambientali sul territorio, con la partecipazione a campagne sulla vegetazione e marine nel Mediterraneo (Barbini *et al.,* 1997a, 1999), ha permesso di progettare e realizzare un laboratorio mobile dotato di un sistema attivo di nuova concezione e di strumentazione di corredo. utilizzato con successo durante la prima sezione della campagna oceanografica antartica 1997-98.

Il lidar fluorosensore e i suoi apparati ancillari, montati sulla M/N Italica, hanno consentito di effettuare mappature, in tempo reale e su tutte le aree d'indagine scelte, di parametri biologici (pigmenti del tipo Clorofilla-a. feopigmenti c Carotenoidi caratteristici delle specie algali dominanti), chimici (sostanze organiche disciolte e sospese), fisici (torbidità dell'acqua, radianza solare), e di stimare 1'attività fotosintetica del fitoplancton.

2. LA FLUORESCENZA DELLE ACQUE MARINE

Nelle acque marine sono presenti sostanze naturali disciolte o in sospensione contenenti gruppi cromofori che possono essere identificati qualitativamente e quantitativamente per mezzo della tecnica di fluorescenza *in vivo.* L'uso di sorgenti luminose o laser con lunghezze d'onda di eccitazione dall'ultravioletto al visibile, permette di analizzare questi campioni tal quali e senza 1'utilizzo di procedure di estrazione o concentrazione, registrando lo spettro di fluorescenza emesso (Determann *et al.,* 1994). Con 1'ausilio di fluorimetri impulsati e inoltre possibile modulare la sorgente di eccitazione e quindi registrare la resa di fluorescenza al variare dell'intensità della luce a cui viene esposto il campione, per poi risalire alla produttività primaria di una particolare alga o di colonie miste di fitoplancton (Genty *et al.,* 1989).

In Fig. 1 vengono mostrati gli spettri di fluorescenza di un campione d'acqua superficiale, prelevato durante la navigazione, a differenti lunghezze d'onda di eccitazione. Si osservano strutture ottiche caratteristiche delle acque e del pigmenti in essa contenuti, evidenziabili mediante misure locali (speltrofluorimetro e PAM, Pulse Amplitude Modulator) o remote (lidar fluorosensore).

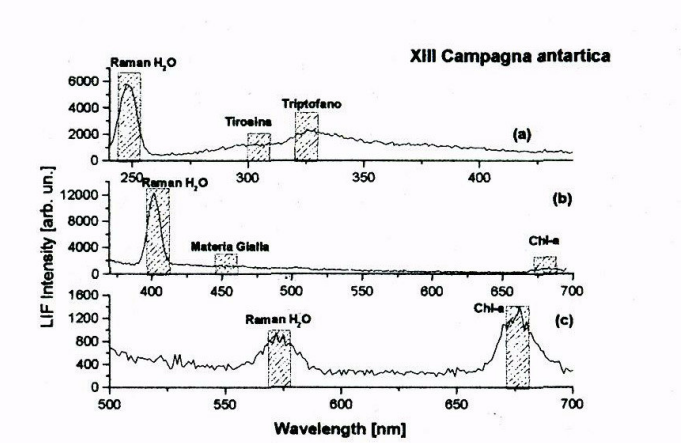


Fig. 1 - Spettri di fluorescenza di un campione di acqua di mare: a) λ_{exc} = 230 nm; b) λ_{exc} = 355 nm; c) λ_{exc} = 480 nm [24 Novembre 1997; 46° 39' 40" S - 171° 31' 50" E].

Il lidar fluorosensore eccita remotamente la superficie marina e raccoglie con sistemi ottici la radiazione retrodiffusa (backscattering), quella generata dall'acqua (scattering Raman) e dalle sostanze cromofore presenti (fluorescenza). I gruppi cromofori marini appartengono a sostanze di origine naturale ed a vari pigmenti del fitoplancton (clorofille e carotenoidi, xantofille ed altri). Le diverse specie di alghe possono essere caratterizzate dai rapporti fra i diversi pigmenti fluorescenti, con particolare riguardo a quelli caratterizzati da un'intensa emissione sul rosso (feopigmenti, ficoeritrina, ficocianina e clorofilla).

Utilizzando come riferimento 1'intensità del segnale di scattering Raman dell'acqua, e possibile confrontare i segnali ottenuti a diverse lunghezze d'onda di fluorescenza. Previa calibrazione in laboratorio, le intensità dei canali corrispondenti, in unita Raman, permettono di risalire al tipo di alga dominante e alla sua concentrazione.

La caratterizzazione del fitoplancton non può prescindere dalla determinazione del contenuto della materia organica disciolta (DOM) presente nelle acque che in Antartide ne costituisce la principale fonte di nutrimento. II DOM e responsabile di gran parte dell'emissione misurata sul blu dello spettro e il suo contenuto, in un certo spettro di fluorescenza, può essere ottenuto tramite la correlazione del dato remoto con misure eseguite in situ con il sistema spettrofluorimetrico.

Oltre a permettere la misura della concentrazione del fitoplancton, il sistema lidar fluorosensore e in grado di misurare 1'andamento dell'efficienza di fotosintesi dello stesso, in funzione delle particolari condizioni fisiche e chimiche delle acque e della radianza solare, adottando una tecnica a doppia eccitazione laser (Pump-and-Probe) (Chekalyuk *et al.,* 1992; Barbini *et al.,* 1997). Questa misura richiede l'utilizzo di almeno due sorgenti laser che emettano impulsi alla stessa lunghezza d'onda ma con energia diversa e tra loro opportunamente ritardati. L'impulso ad energia più alta (Pompa) provoca la chiusura dei Centri di Reazione del Fotosistema II, inducendo cosi le cellule fitoplanctoniche in uno stato di fotoinibizione. Il risultato e che 1'energia proveniente dalla luce non viene utilizzata nei processi fotochimici e quindi si ha il massimo di emissione di fluorescenza (Kolber & Falkowsky, 1993). Sondando, prima e dopo 1'azione dell'impulso di pompa, 1'emissione fluorescente, mediante l'impulso ad energia più bassa (Probe), si può stimare 1'efficienza di attività fotosintetica che misura il grado di funzionamento del Fotosistema II e quindi lo stato di salute dell'intero apparato. Da questa informazione si può inoltre risalire alla produttività primaria nella zona considerata.

Nel lidar fluorosensore ENEA, le funzioni di pompa e di sonda sono svelte da un'unica sorgente laser, da noi progettata e realizzata. A corredo del sistema lidar, è stato utilizzato un fluorimetro ad ampiezza modulata (PAM) per misure di riferimento di attività fotosintetica in funzione dell'intensità d'illuminazione.

3. IL LABORATORIO LIDAR FLUOROSENSORE DA CAMP AGNA MARINA

Per la partecipazione alla campagna oceanografica antartica, la strumentazione e stata alloggiata all'interno di in un container ISO 20", allestito seguendo gli standard antartici, in modo tale da poter operare in modo continue durante la navigazione. Il sistema complessivo comprende un lidar fluorosensore a 12 canali, uno spettrofluorimetro ed un PAM, per la validazione del dati lidar, un GPS per la georeferenziazione ed uno spettrordiometro per la misura della radianza solare.

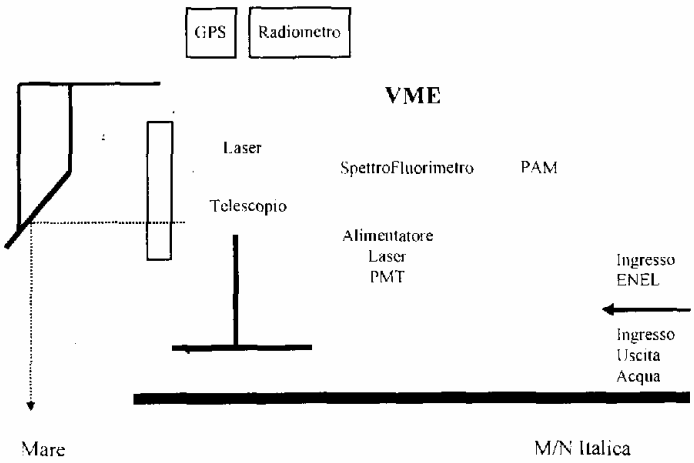


Fig. 2 - Laboratorio Lidar Fluorosensore per la campagna antartica (vista laterale), sono schematizzati gli alloggiamenti dei principali componenti del sistema lidar, la strumentazione di controllo e i sistemi di calibrazione.

Attraverso una finestra ottica ed uno specchio esterno (Fig. 2) il fascio laser viene inviato sulla superficie marina mentre il segnale di ritorno e raccolto dal telescopio all'interne del container e poi processato da opportuna strumentazione ottico-elettronica.

3.1. II lidar fluorosensore

L'apparato lidar fluorosensore e stato realizzato in modo tale da rispondere ai requisiti di massima sensibilità nel maggior numero di canali spettrali, da poter operare sia in singolo che in doppio impulso c da controllare e registrare anche dati di corredo e di riferimento. In Fig. 3 e mostrato uno schema dell'apparato, mentre in Tab. 1 sono riportate le principali caratteristiche del sistema. II trasmettitore utilizzato e un laser a stato solido operante nell'ultravioletto (355 nm), il cui fascio viene inviato in modo coassiale con il ricevitore sulla superficie marina.

La fluorescenza emessa dai primi strati di acqua (da 0 a 5 m) e raccolta con un telescopio Cassegrain, analizzata spettralmente con filtri ottici a banda stretta e convertita in segnale analogico tramite un banco di fotomoltiplicatori. Una elettronica ad alta sensibilità, in grado di operare anche con elevati livelli di luce ambiente, e stata progettata e realizzata per.questi rivelatori. Questa elettronica fissa la finestra temporale di acquisizione dei dati. abilita 1'alta tensione ai fototubi in coincidenza con il segnale ottico di ritorno, e sottrae il fondo residuo.

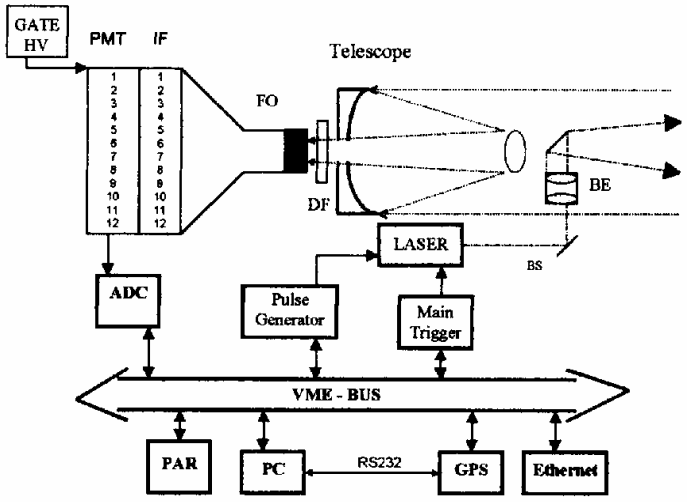


Fig. 3 - Schema del lidar fluorosensore.

Durante la campagna antartica, il sistema ha operate ad una frequenza di 10 impulsi al secondo acquisendo segnali di fluorescenza su 8 moduli ADC distinti. Sono stati utilizzati i canali spettrali del Raman dell'acqua (F404), della materia gialla o DOM (F450), della clorofilla (F680) nonché altri canali disponibili (F430, F480, F580, e F650) che completano lo spettro di fluorescenza delle acque marine nella regione del visibile.

Tab. 1 – Caratteristiche del sistema lidar fluorosensore.

Trasmettitore	Nd-YAG laser	@ 355 nm, 10 ns, 10 Hz
Pump	Energia	30 mJ
Probe	Energia	3 mJ
Espansore	Regolabile	1x – 20 x
Rivelatore	Hamamatsu PMT	R 3896 (2), R1477 (2), R928 (8); Gated HV 100 ns
Filtri	Dicroico	T> 90% (@ 400 nm)
	Interferenziale FWHM 5nm	355,402,435,450,475,550,580,650,660,680,730,800nm
Telescopio	Cassegrain	40 cm dia. F# 1.5, f = 165 cm
Fibra Ottica	Multifibra Plastica	Dodici Rami
	Diametro	Ingresso 25.4 mm, uscita 7 mm, Lunghezza 1 m
Elettronica	VME	ISA-VME-mixed bus, ADC V265 CAEN 15 Bit
Computer	VME-CPU embebbed	486-100 MHz

L'elettronica di controllo standard VME provvede a definite i parametri ed ottimizzare la strumentazione utilizzata, a gestire 1'acquisizione dei dati e a fornire in tempo reale i dati grezzi relativi alle specie monitorate. L'utilizzo di porte accessorie ha consentito il controllo contemporaneo durante la navigazione anche di tutta la strumentazione di riferimento, comprendente un radiometro per la misura della radianza solare (PAR) e un ricevitore GPS per la determinazione della posizione geografica. Inoltre sul bus VME era assicurato il collegamento con la rete interna della nave per 1'acquisizione dei dati di navigazione. La misura dell'attività fotosintetica del fitoplancton e realizzata dal lidar fluorosensore in maniera originale. utilizzando la stessa sorgente laser che emette coppie di impulsi con energie diversa e tra loro opportunamente ritardati, per determinare la resa di fluorescenza con il metodo pump-and-probe. L'elettronica di con-

trollo VME permette di impostare i tempi caratteristici e 1'operazione della sorgente laser in modo pump-and-probe.

3.2. Strumentazione accessoria

Lo spettrofluorimetro misura lo spettro di fluorescenza emessa da campioni liquidi, al variare della lunghezza d'onda di eccitazione, utilizzando un primo monocromatore per la selezione della lunghezza d'onda di eccitazione e un secondo per la selezione delle lunghezze d'onda della fluorescenza. La lunghezza d'onda di eccitazione può essere variata nell'intervallo 190-800 nm. Per ogni campione prelevato durante la campagna, in superficie e/o a 5 m di profondità. sono stati acquisiti automaticamente dallo strumento una serie di spettri d'emissione a diverse lunghezze di eccitazione sulla base dei quali sono stati selezionati i canali spettrali più significativi per una caratterizzazione completa della qualità delle acque e per l'identificazione dei pigmenti algali. In particolare, si e scelto di ridurre i dati in modo da ottenere le seguenti quantità: trasparenza, componenti UV e visibili del DOM. pigmenti del fitoplancton. 1 canali spettrali esaminati, integrati su una banda di 10 nm, sono listati in Tab. 2.

Tab. 2 - Schema delle bande di analisi dati nelle misure spettrofluorimetriche.

Bande di emissione	λ_{exc} [nm]	λ_{em} [nm]	**Note**
Raman	230	249	Transparency
Tyrosine	230	305	Tyrosine-like fluorescence
Tryptophan	230	345	Tryptophan-like fluorescence
DOM	230	380	DOM fluorescence in the UV
Raman	266	292	Transparency
Tryptophan	266	345	Tryptophan-like fluorescence
DOM	266	380	DOM fluorescence in the UV
Raman	355	403	Transparency
Humic and fulvic acids	355	445	DOM fluorescence in the Blue
Phycoerythrin	355	580	Algal pigment
Allophycocyanin	355	650	Algal pigment
Chlorophylls	355	680	Chl- algal pigments
Blue-green pigments	480	510	Degradation algal pigments
Humic and fulvic acids	480	545	DOM fluorescence tail
Raman	480	571	Transparency
Chlorophylls-a	480	680	Chl-a algal pigments
Phycoerythrin	530	585	Algal pigment
Phycocyanin	530	630	Algal pigment
Raman	530	644	Transparency

La calibrazione dello spettrofluorimetro e poi del lidar c stata effettuata in collaborazione con il Laboratorio di Biologia Marina di Trieste su campioni di alghe prelevate durante la campagna oceanografica. Questo ha permesso di convertire i dati fluorimetrici dalle unita Raman a valori assoluti di concentrazione (Barbini *et al.,* 1999). Per le alghe. previa analisi di monocolture. lo strumento consente di identificare la specie dominante incontrata, rilevando la presenza di pigmenti accessori caratteristici, e di determinarne la concentrazione dall'intensità del picco rosso d'emissione della clorofilla.

Gli spettri ottenuti selezionando la stessa lunghezza d'onda di eccitazione della sorgente laser del lidar (355 nm) vengono -anche utilizzati per calibrare il sistema di analisi remota delle acque marine.

Il PAM e stato impiegato per monitorare l'efficienza del meccanismo di fotosintesi clorofilliana nelle alghe. La resa di fluorescenza misurata permette, infatti, di risalire a parametri di funzionamento dell'apparato fotosintetico delle alghe (trasporto elettronico, quenching fotochimico e non fotochimico) alle condizioni ambientali (radianza solare, temperatura) in cui si trovano. Questo strumento permette inoltre di misurare la velocita di crescita di ceppi algali selezionati, al variare dell'intensità della luce di attivazione, e viene infine utilizzato come riferimento per il lidar fluorosensore operate in modo Pump-and-Probe.

4. RISULTATI DELLA CAMPAGNA OCEANOGRAFICA

Nei due mesi di attività in nave, comprendenti la campagna oceanografica e i transetti di trasferimento da e verso la Nuova Zelanda, il laboratorio ENEA ha operato effettuando misure in modo remoto con il sistema lidar e locale con lo spettrofluorimetro e il PAM.

4.1. Misure mediante lidar fluorosensore

La campagna di telerilevamento lidar e iniziata il 7/12/97 ore 7:00 UTC da BTN ed e continuata ininterrottamente fino al ritorno al porto di Dunedin (NZ) (14/1/98; 8:00 UTC).

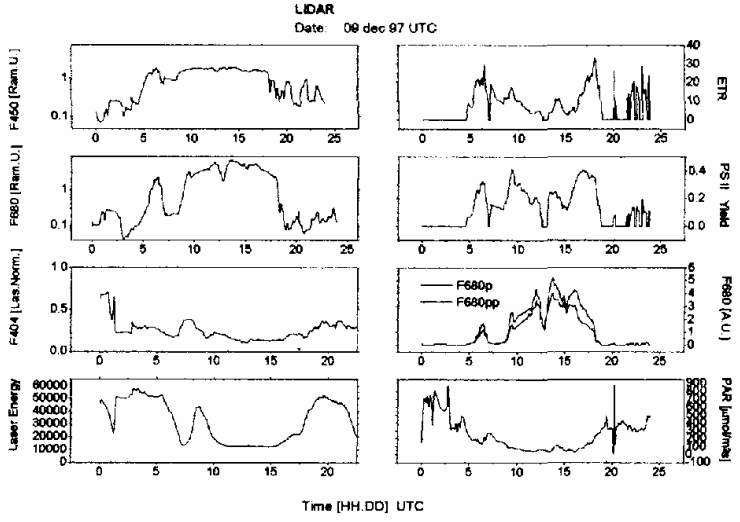


Fig. 4 - Determinazioni lidar a differenti canali. Data 9 dicembre 1997 (UTC).

Durante la campagna sono state eseguite complessivamente 10^7 determinazioni, ognuna della durata di 5 secondi ottenuta mediando su 50 impulsi laser, con una risoluzione longitudinale di 25 m alla velocità media di 10 nodi. Previa verifica dell'integrazione verticale sui primi 5 m della colonna d'acqua, le grandezze misurate sono valori mediati sull'intervallo di profondità 0-5m.

In Fig. 4 sono mostrati i risultati di una giornata di acquisizione di dati lidar per ciascuno dei parametri misurati. A sinistra dal basso: 1'energia laser, l'intensità del segnale Raman corretto per le fluttuazioni del laser, due canali di fluorescenza (F450, F680) in unita Raman. A de-

stra dal basso: PAR, intensità da misure pump-and-probe, resa di fluorescenza (Y) e trasporto elettronico ETR = Y*PAR*k, ove k e una costante del mezzo investigato.

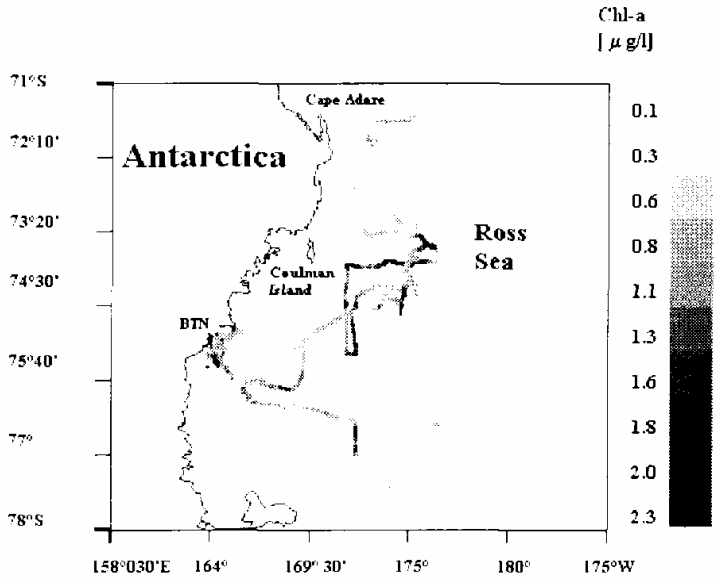


Fig. 5 - Clorofilla nel Mare di Ross - dati LIDAR [7-27/12/97]. La scala dei grigi riporta la concentrazione di Chl-a in µg/l.

Utilizzando una base cartografica digitalizzata della zona del mare di Ross e stata realizzata una mappa tematica, mostrata in scala di grigi in Fig. 5, della distribuzione di clorofilla algale misurata in superficie (5-7 m) durante la navigazione. Si notano zone ad elevata concentrazione, della dimensione media di circa 8 km, corrispondenti ai bloom algali incontrati in prossimità delle zone di polynya e dei ghiacci in scioglimento.

4.2. Misure spettrofluorimetriche

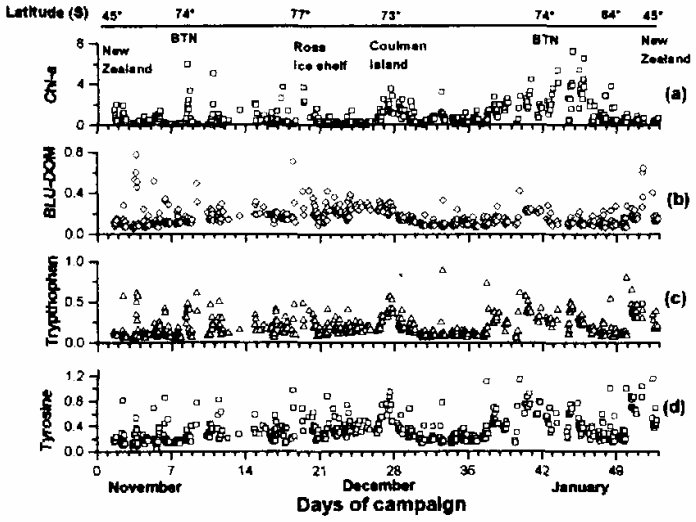


Fig. 6 - Analisi spettrofluorometrica delle acque attraversate, intensità spettrali in unita Raman: a) λ_{exc} = 230 nm; b) λ_{exc} - 230 nm; c) λ_{exc} = 355 nm; d) λ_{exc} = 480 nm [24 Nov. '97-15 Gen. '98]. Le intensità di fluorescenza sono riportate in unità Raman.

Le misure spettrofluorimetriche sono iniziate alla partenza dalla Nuova Zelanda (23/11/97; 7:00 UTC) verso BTN ed hanno avuto una cadenza di circa un campione ogni ora con coincidenze sulle stazioni idrologiche comuni a più gruppi operanti sulla nave oceanografica. Sono state effettuate circa 700 determinazioni utilizzabili per ottenere mappe puntuali di pigmenti negli strati di acqua investigati.

In Fig. 6, vengono riportate le intensità spettrali misurate con lo spettrofluorimetro durante la campagna oceanografica, per i canali

del triptofano, della tirosina, del DOM-BLU e della Clorofilla-a. Dalla figura si evidenziano zone caratteristiche di fioriture algali dal canale della Clorofilla-a (Fig. 6a) come quella di Baia di Terranova (BTN), del Ross Ice Shelf, e il tratto di mare tra 1'isola di Coulman e Cape Adere. Sul canale del DOM-BLU (Fig. 6b) si sono registrati segnali molto bassi, correlabili probabilmente al rilascio di materiale inorganico proveniente dallo scioglimento dei ghiacci e/o a pigmenti accessori delle alghe e loro frammenti di degrado. La correlazione tra i blooms algali incontrati e la presenza di pigmenti delle alghe e ben evidente nelle loro componenti fluorescenti UV (Fig. 6c-d).

4.3. Misure PAM

Le misure con il PAM sono state eseguite ad una cadenza media di una al giorno, per la necessita di filtrare per circa 2 ore acqua di mare, onde preparare soluzioni algali a concentrazione tale da poter superare la soglia minima di rivelazione dello strumento.

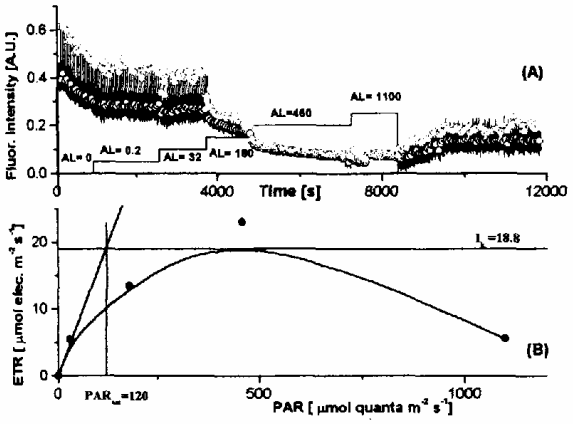


Fig. 7 - Analisi fluorimetrica di un campione di fitoplancton prelevato il 10 Dicembre 1997 UTC (75^0 26' 59" S, 165^0 55' 09" E): a) andamento della intensità di fluorescenza al variare della luce attinica (AL); b) Electron Transfer Rate (ETR) e determinazione dei fattori di crescita I_k e PAR_{SAT}.

In base al protocollo di misura dello strumento, prima dell'analisi è stato necessario aggiungere al tempo di filtrazione un altro periodo di 2 ore, per permettere il fotoadattamento al buio del campione. Sono stati determinati parametri caratteristici del processo di fotosintesi in circa 50 campioni di colonie miste di fitoplancton oceanico e antartico, raccolte durante tutta la navigazione. I dati riportati in Fig. 7 sono stati ottenuti variando l'illuminazione a cui viene sottoposto il campione durante la misura.

Sia l'intensità di fluorescenza (Fig. 7a) che il livello di saturazione luminosa (PAR_{SAT}. Fig. 7b) hanno valori bassi, come ci si può aspettare da organismi adattati alle particolari condizioni climatiche antartiche di bassa temperatura ed illuminazione. Questi valori sono poi risultati caratteristici delle popolazioni di fitoplancton incontrate nel Mare di Ross nel periodo.

Sia la resa di fluorescenza (Y, Fig. 7b) che il livello di saturazione luminosa (PAR. $_{SAT}$ Fig. 7c) hanno valori bassi, come ci si può aspettare da organismi adattati alle particolari condizioni climatiche antartiche di bassa temperatura ed illuminazione. Questi valori sono poi risultati caratteristici delle popolazioni di fitoplancton incontrate nel Mare di Ross nel periodo.

5. CONCLUSIONI

Durante la XIII[a] campagna oceanografica antartica e stato effettuato un monitoraggio remote, automatico e continue del fitoplancton e delle sostanze organiche disciolte nelle acque marine con la strumentazione del laboratorio lidar fluorosensore installato sulla M/V Italica. Sono state ottenute mappe tematiche dei differenti canali spettrali. evidenziando bloom algali incontrati in prossimità delle zone di polynya e dei ghiacci in fase di scioglimento. Con i sistemi locali sono state caratterizzate le popolazioni di fitoplancton incontrate determinando sia i pigmenti relativi che l'attività fotosintetica.

Sono in corso inoltre ulteriori elaborazioni dei dati acquisiti localmente e remotamente per effettuare il confronto ed integrazione con immagini satellitari multispettrali (SeaWiFS o MERIS) per una caratterizzazione completa dell'area di Ross investigata.

RINGRAZIAMENTI

Questa ricerca e stata finanziata dal Progetto Nazionale di Ricerca in Antartide, prog. 5B1.

BIBLIOGRAFIA

Barbini R., Colao F., Fantoni R., Palucci A. & Ribezzo S. 1997. The ENEA mobile lidar fluorosensor equipment for marine campaigns. In European Association of Remote Sensing Laboratories (Babichenko S. & Reuter R. Eds): 15-22.

Barbini R.. Fantoni R., Colao F.. Palucci A. & Ribezzo S. 1999. Shipborne laser remote sensing of the Venice lagoon. *Int. Jan. Remote Sensing.* Vol. 20, N° 12: 2405-2421.

Chekalyuk A.M., Demidov A.A., Fadev V.V. & Oorbunov M.Yu. 1992. Easer remote sensing of Phytoplankton and organic matter in the sea water. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (Fritz E.W. & Lucas J.R. Eds.), Proceedings XVII International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing, 29: 878-885.

Determann S., Reuter R., Wagner P. & Willkomm T. 1994. Fluorescent matter in the eastern Atlantic Ocean. Part 1: method of measurement and near-surface distribution. *Deep-Sea Research.* 1. 41: 659-675.

Genty B., Briantais J.M. & Baker N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta.* 990: 87-92.

Kolber Z. & Falkowsky P.O. 1993. Use of active fluorescence to estimate Phytoplankton photosynthesis in situ. *Limnology and Oceanography.* 38: 1646-1665.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998

Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, 13 (2), pp. 237-247, luglio 2000

VARIAZIONI STAGIONALI DI CORRENTE, TEMPERATURA E SALINITÀ NELLA POLYNYA DI BAIA TERRA NOVA (MARE DI ROSS, ANTARTIDE): TRE ANNI DI OSSERVAZIONI

Luca AMICI[1], Francesco. DEGL'INNOCENTI[1], Giuseppe M.R. MANZELLA[2], Roberto MELONI[1]

[1]CNR IOF - Forte S. Teresa 19036 Pozzuolo - La Spezia
[2]ENEA-CRAM - Forte S. Teresa 19036 Pozzuolo - La Spezia

ABSTRACT

One of the aims of CLIMA (Climatic Long-term Interactions for the Mass-balance in Antarctica) project within the PNRA (Programma Nazionale di Ricerche in Antartide) is the understanding of the mechanism of the dense water formation HSSW (High Salinity Shelf Water) in the polynya of Terra Nova Bay in the Ross Sea (Antarctica). Arrays of instruments were moored on the sea bed at 1000 m depth in the polynya area. Time series of water current, temperature and conductivity were collected at different depths from 17 February 1995 to 14 January 1996 and from 2 February 1996 to 8 December 1997. The seasonal and interannual variability of High Salinity Dense Water formation was analysed by using three years long lime series.

RIASSUNTO

Una delle finalità del progetto CLIMA (Climatic Long-term Interactions for the Mass-balance in Antarctica) in ambito PNRA (Programma Nazionale di Ricerche in Antartide) è la comprensione del meccanismo di formazione dell'acqua densa HSSW (High Salinity Shelf Water) nella polynya di Baia Terra Nova nel Mare di Ross (Antartide). A tale scopo è stato colà posizionato .un mooring, su un fondale di 1000 m circa, composto di correntometri e registratori di temperatura e conducibilità dell'acqua. Sono state acquisite serie di misure di corrente, di temperatura e di conducibilità a varie quote per un periodo di tre anni: dal 17/2/1995 al 14/1/1996 e dal 2/2/1996 al 8/12/1997. Un'analisi della variabilità stagionale dei parametri suddetti sui tre anni di misura è effettuata al fine di evidenziare i periodi nei quali si verificano le condizioni della formazione di acque dense e valutare le condizioni stesse.

1. MISURE E METODI

La variazione stagionale ed interannuale delle caratteristiche fisiche delle masse

d'acqua nella zona di polynya di Baia Terra Nova è stata analizzata da dati di corrente, temperatura e conducibilità provenienti da sensori ancorati nella posizione di Fig. 1, in un'area ove si ha formazione di acque dense saline (Bergamasco *et al, 1996;* Fig. 2). Inoltre sono state effettuate campagne di indagine della variazione spaziale di tali caratteristiche (almeno nel periodo estivo) mediante calate di CTD. Nel primo anno di misure la configurazione dell'ancoraggio era quella riportata in Fig. 3a, mentre quella del secondo e del terzo anno è riportata in Fig. 3b.

Nelle tabella 1 sono mostrati i raffronti fra i dati di temperatura e conducibilità

Tab. 1 - Raffronti fra i dati di temperatura e conducibilità registrati dagli strumenti del mooring e quelli acquisiti dalla sonda CTD (Il tempo è quello di Baia Terra Nova (UTC + 13).

Mooring D (95)	START	STOP	MOORING POSITION
	17/02/95 17.00	13/01/96 18.00	75° 06'.100 S 164° 13'.042 E
CTD STATION	TIME	INSTRUMENT	POSITION
an95149	19/02/95 18.55	CTD Sea bird	75° 05'.354 S 164° 22'.301 E
CTD STATION	TIME	INSTRUMENT	POSITION
an96005c	14/01/96 07.33	CTD Sea bird	75° 05'.650 S 164° 12'.260 E

TEMPERATURE °C

Depth CTD	Temp. CTD	Data file at the same depths	Instrument	Temp. Moor. at 19/02/95 18.55	T. ctd - T. Moor.
142 m	-1.9102	d95142c	Currentmeter Aanderaa	-1.9047	**-0.0055**
882 m	-1.8971	d95882c	Currentmeter Aanderaa	-1.8829	**-0.0142**
CTD	CTD	same depths		14/01/96 07.33	
142 m	-1.8923	d95142c	Currentmeter Aanderaa	-1.8815	**-0.0108**
882 m	-1.8929	d95882c	Currentmeter Aanderaa	-1.8751	**-0.0178**

CONDUCTIVITY S/m * 10

Depth	Cond.	Data file at the	Instrument	Cond. Moor. at	C. ctd - C. Moor.
CTD	CTD	same depths		19/02/95 18.55	
142 m	27.2984	d95142c	Currentmeter Aanderaa	27.3181	**-0.0197**
882 m	27.7233	d95882c	Currentmeter Aanderaa	27.7709	**-0.0476**
CTD	CTD	same depths		14/01/96 07.33	
142 m	27.3128	d95142c	Currentmeter Aanderaa	27.3181	**-0.0053**
882 m	27.7192	d95882c	Currentmeter Aanderaa	27.7709	**-0.0517**

Mooring D (96-97)	START	STOP	MOORING POSITION
	02/02/96 12.00	08/12/97 13.00	75° 07'.145 S 164° 13'.295 E
CTD STATION	TIME	INSTRUMENT	POSITION
an96032c	02/02/96 19.40	CTD Sea bird	75° 05'.250 S 164° 11'.200 E
CTD STATION	TIME	INSTRUMENT	POSITION
an97002c	08/12/97 05.10	CTD Sea bird	75° 05'.350 S 164° 10'.820 E

TEMPERATURE °C

Depth	Temp.	Data file at the	Instrument	Temp. Moor. at	T. ctd - T. Moor.
CTD	CTD	same depths		02/02/96 19.40	
140 m	-1.8880	d96140s	C&T recorder Sea bird	-1.8907	**0.0027**
836 m	-1.8944	d96836c	C&T recorder Sea bird	-1.8973	**0.0029**
CTD	CTD	same depths		08/12/97 05.10	
140 m	-1.8998	d96140s	C&T recorder Sea bird	-1.8925	**-0.0073**
836 m	-1.8995	d96836s	C&T recorder Sea bird	-1.9000	**0.0005**

CONDUCTIVITY mmho/cm

Depth	Cond.	Data file at the	Instrument	Cond. Moor. at	C. ctd - C. Moor.
CTD	CTD	same depths		02/02/96 19.40	
140 m	27.2984	d96140s	C&T recorder Sea bird	27.2766	**0.0218**
836 m	27.6901	d96836s	C&T recorder Sea bird	27.6850	**0.0051**
CTD	CTD	same depths		08/12/97 05.10	
140 m	27.3250	d96140s	C&T recorder Sea bird	27.2878	**0.0372**
836 m	27.6892	d96836s	C&T recorder Sea bird	27.6648	**0.0244**

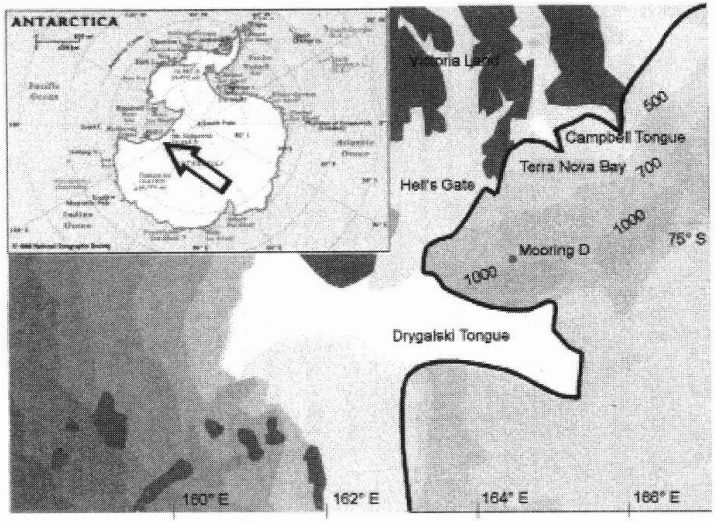


Fig. 1 - Posizione del mooring D

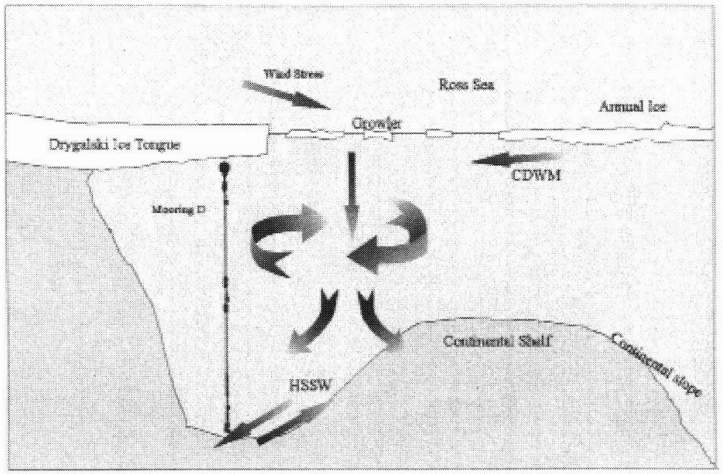


Fig. 2 - Formazione della HSSW

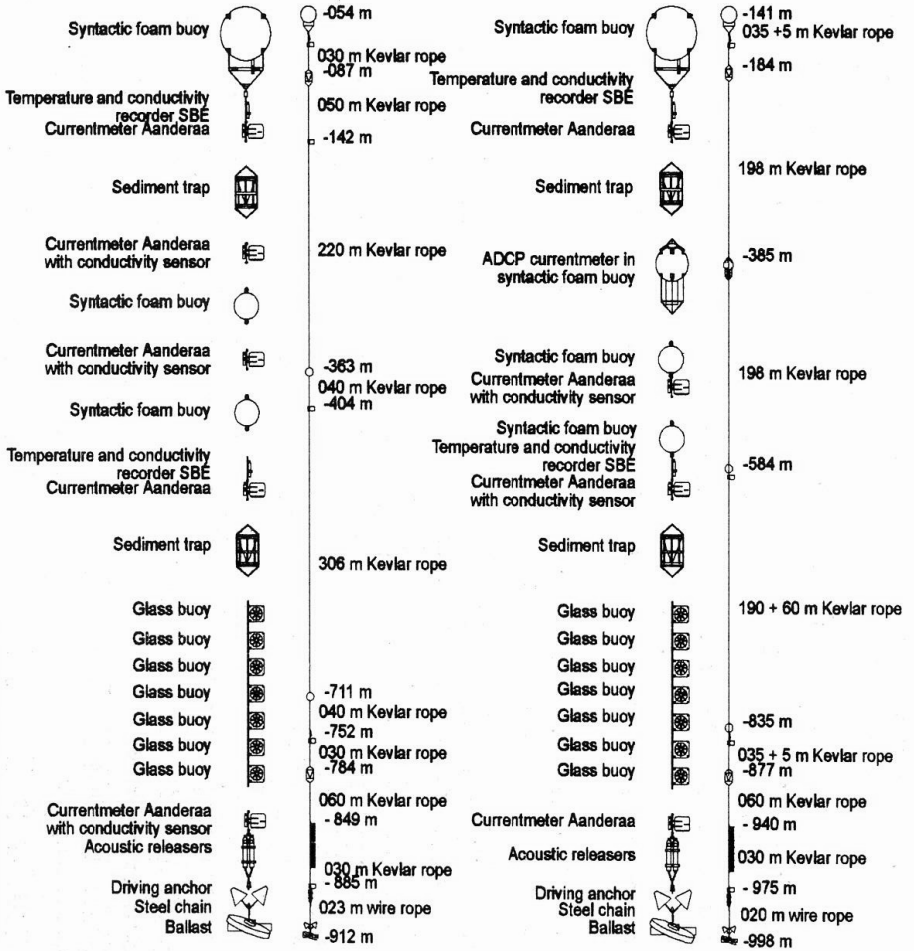


Fig. 3a - Mooring D nel 1995 Fig. 3b - Mooring D nel 1996 - 97

registrati dagli strumenti del mooring e quelli acquisiti dalla sonda CTD durante calate effettuate dopo il varo e prima del recupero del mooring stesso nel gennaio 1995 e nel gennaio 1996 e nel febbraio 1996 e nel dicembre 1997.

Le differenze riscontrate, tenendo conto che per motivi di sicurezza le calate di CTD sono state effettuate ad una distanza dal mooring di circa 3 miglia, non giustificano correzioni da apportare ai dati degli strumenti dei mooring stessi.

Sono state apportate correzioni di +0.015 °C e di +0.072 PSU ai dati di temperatura e salinità rispettivamente alla quota di -900 m, semplicemente per raccordarli con i dati dell'anno precedente.

In questo articolo vengono prese in considerazione le variazioni dei dati di velocità, temperatura e salinità ad una quota verso la superficie e ad una prossima al fondo.

I dati sono stati scelti con i seguenti criteri:

a) quote che nel primo periodo e nel secondo fossero le più vicine;
b) per la quota più verso la superficie si è scelta una misura di riferimento di -140 m che è la quota più superficiale con dati della prima e della seconda serie;
e) per la quota più verso il fondo si è scelta una misura di riferimento di -900 m dove sono disponibili dati all'intorno di questa quota e che non presentano più apprezzabili variazioni con l'altezza;
d) per le velocità sono stati usati sempre strumenti Aanderaa;
e) per temperatura e conducibilità si è privilegiato il sensore SBE rispetto al sensore Aanderaa, se presente;
f) per la temperatura Aanderaa si è presa quella antartica.

Nella tabella 2 sono riportate le quote, la strumentazione e le date delle misure prese in considerazione.

Nella tabella 3 sono riportate le precisioni degli strumenti utilizzati.

Tab. 2 - Quote, strumentazione e date delle misure prese in considerazione.

Quota (m)	I periodo	Strumento	Tipo di misura
-142	18/02/95 - 13/01/96	Aanderaa	velocità temperatura conducibilità
-882	18/02/95 - 13/01/96	Aanderaa	velocità temperatura conducibilità
Quota (m)	II periodo	Strumento	Tipo di misura
-141	03/02/96 - 02/11/97	Aanderaa	velocità
-140	03/02/96 - 07/12/97	SBE	temperatura conducibilità
-979	03/02/96 - 03/12/97	Aanderaa	velocità
-836	03/02/96 - 07/12/97	SBE	temperatura conducibilità

Tab. 3 - Precisioni degli strumenti utilizzati.

Aanderaa RCM7 Thermistor	FENWALL GB32JM19	±0.05 °C
Seacat Thermistor	SBE3	±0.001 °C
Aanderaa Conductivity	Inductive cell 2994	±0.01 S/m
Seacat Conductivity	Conductive cell SBE4	±0.001S/m

2. ANALISI DEI DATI

È stato possibile esaminare solo le caratteristiche delle acque sotto i 100 m. Questo pone alcuni problemi sulla interpretazione dei dati e non consente di descrivere in maniera completa la dinamica nella Baia Terra Nova.

È possibile però affermare che la serie temporale di cui si dispone è la più lunga esistente in un'area di polynya in Antartide (PNRA, 1995; PNRA, 1996; PNRA, 1998). Questa serie consente di valutare:

a) la variabilità stagionale a quote inferiori a 100 m;
b) la variabilità interannuale;
e) la variabilità delle caratteristiche delle HSSW durante il periodo di misure.

In studi recenti (Manzella *et al,* 1999) è stata posta la domanda sul destino delle HSSW che si formano in Baia Terra Nova, quale è la traiettoria che esse seguono e quale variabilità spaziale e temporale è associata ad essa (Picco *et al.,* 1996; Picco *et al,* 1999).

Le serie temporali dimostrano che non vi è una risposta unica, ma si ha una variabilità nel trasporto che muta di anno in anno.

3. DESCRIZIONE DI TEMPERATURA E SALINITÀ

Il ciclo stagionale è meglio descritto dai dati di salinità (Figg. 4 e 5). La colonna d'acqua risulta più dolce nei primi mesi dell'anno e successivamente si ha una crescita della salinità stessa, fino ad arrivare ai valori tipici .della HSSW su tutta la colonna d'acqua misurata. In questo secondo periodo si hanno oscillazioni (che diminuiscono con la profondità) ed eventi dinamici associati a presenza di acqua salata. Essi sono molto evidenti nel Novembre - Dicembre 1995, e sembrano avere una variabilità interannuale per quanto riguarda intensità e frequenza.

Il periodo estivo è caratterizzato dalla presenza di passaggi di acqua calda e relativamente dolce (Figg. 6 e 7): anche in questo caso, si assiste ad una notevole variabilità interannuale in termini di intensità e frequenza.

4. ASPETTI DINAMICI - CORRENTI

In media le correnti sono dirette verso i quadranti settentrionali e maggiormente verso NNW, soprattutto a fondo, tuttavia si nota un'alta variabilità dell'ordine di 7-10 giorni, specialmente nel periodo invernale (Fig. 8). In questo periodo, le correnti vicino al fondo sono considerevolmente superiori. Questo può essere interpretato come una conseguenza della formazione di HSSW che scende verso il basso e giustifica le basse correnti orizzontali a -140 m, cui dovrebbero corrispondere relativamente alte correnti verticali, con conseguente fuoruscita di acqua alle quote più basse.

Questo tipo di dinamica non è stato ancora ben descritto con dati sperimentali, a causa della mancanza di informazioni nello strato 0 -150 m.

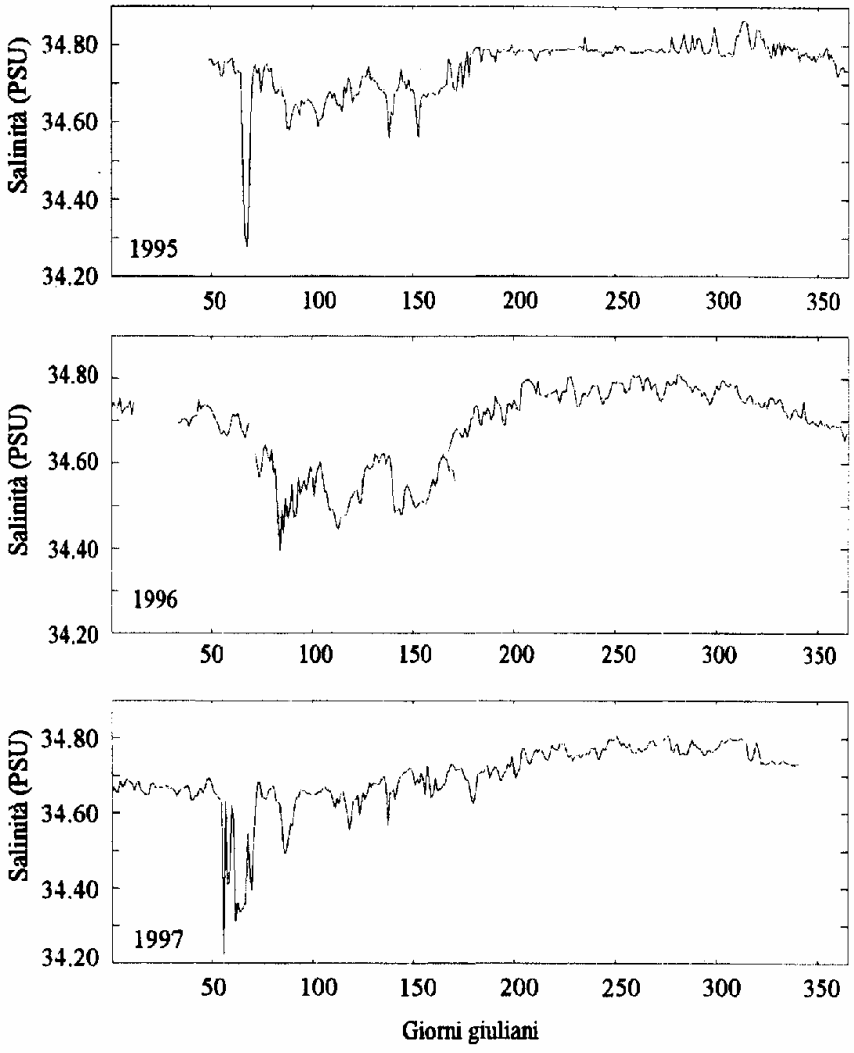


Fig. 4 - Andamento della salinità alla profondita' di 140 m.

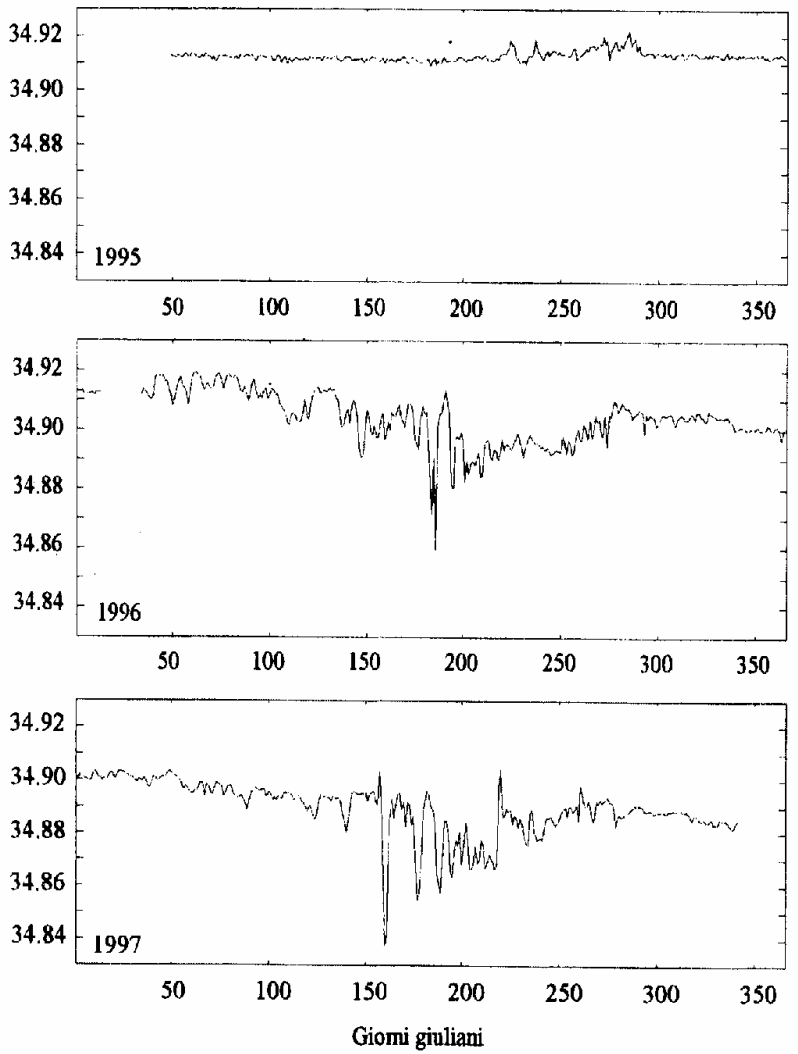


Fig. 5 - Andamento della salinità alla profondita' di 900 m.

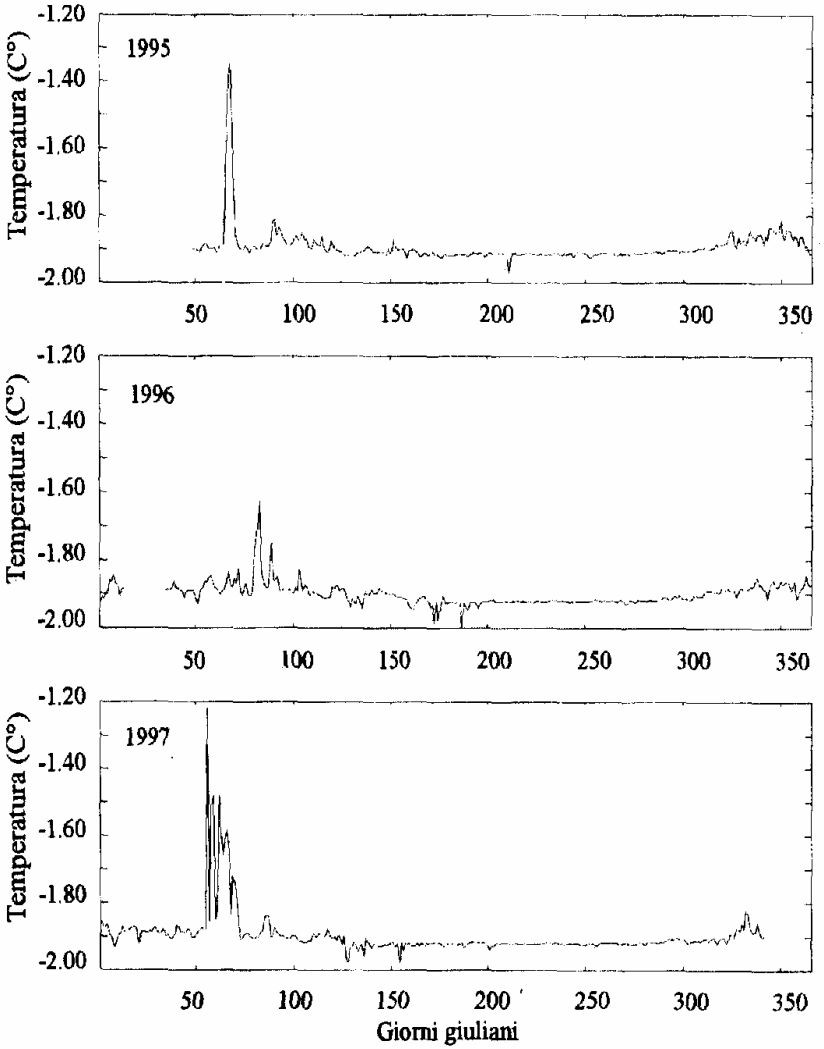


Fig. 6 - Andamento della temperatura alla profondita' di 140 m.

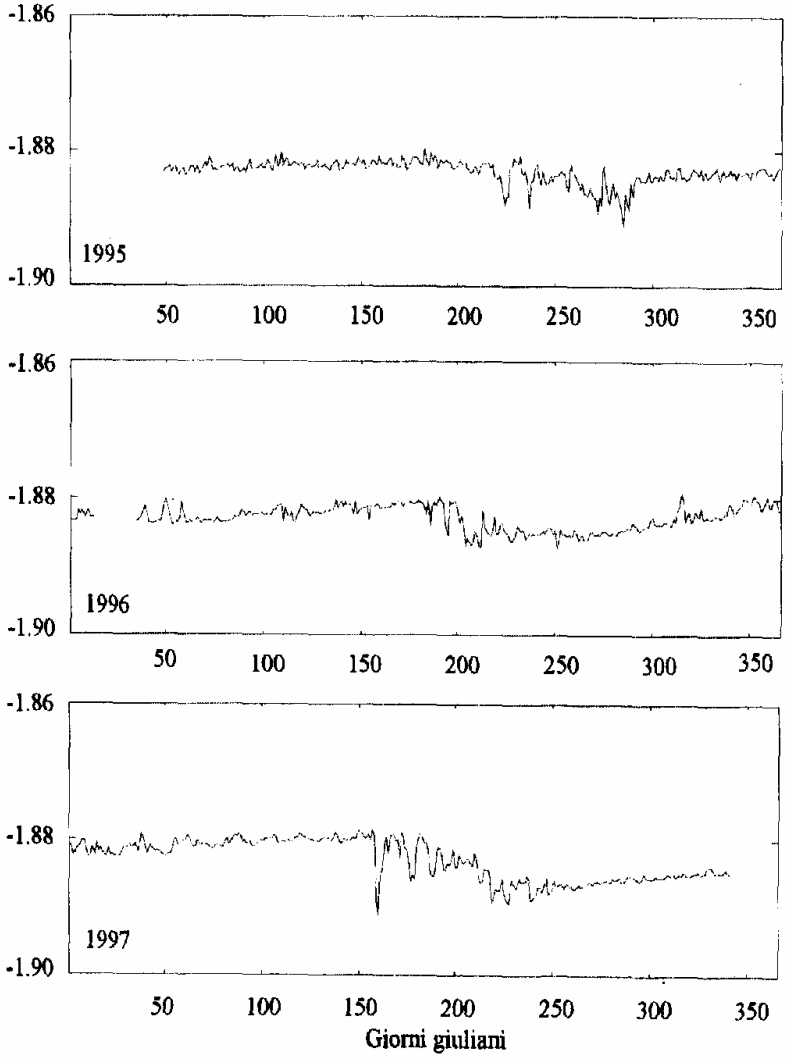


Fig. 7 - Andamento della temperatura alla profondita' di 900 m.

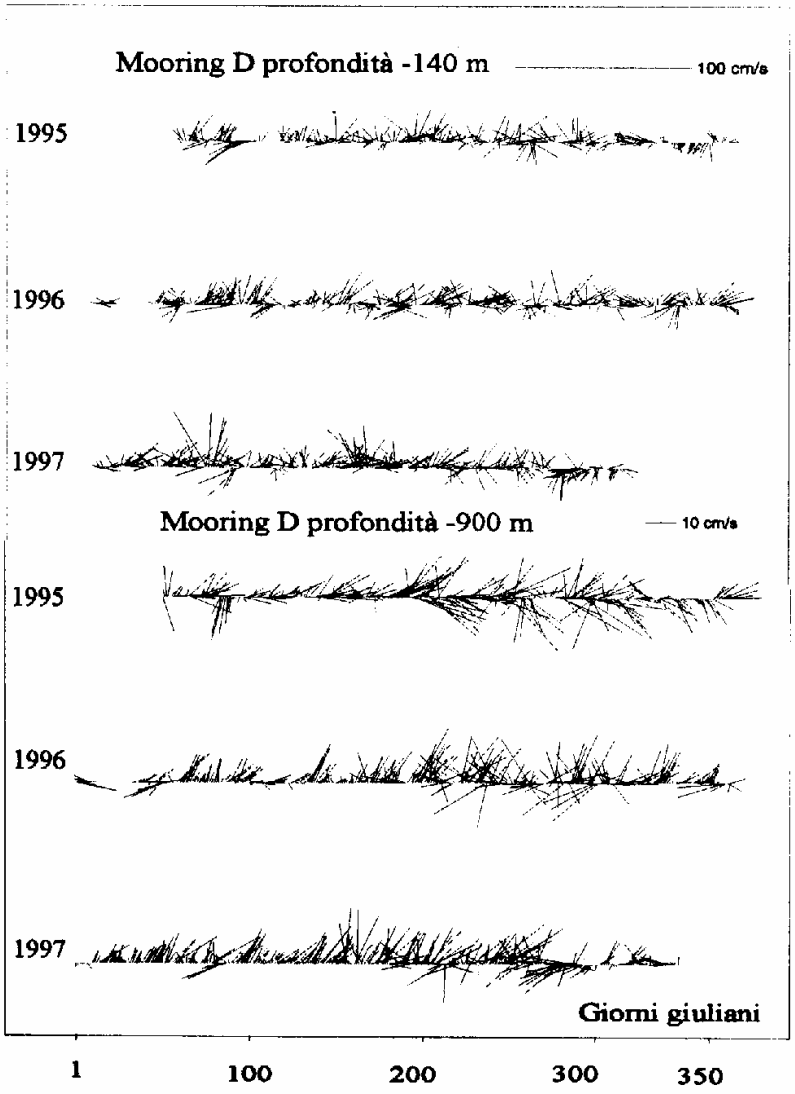


Fig. 8 - (a) Stick diagram della velocità della corrente a 140 m. (B) Stick diagram della velocità della corrente a 900 m.

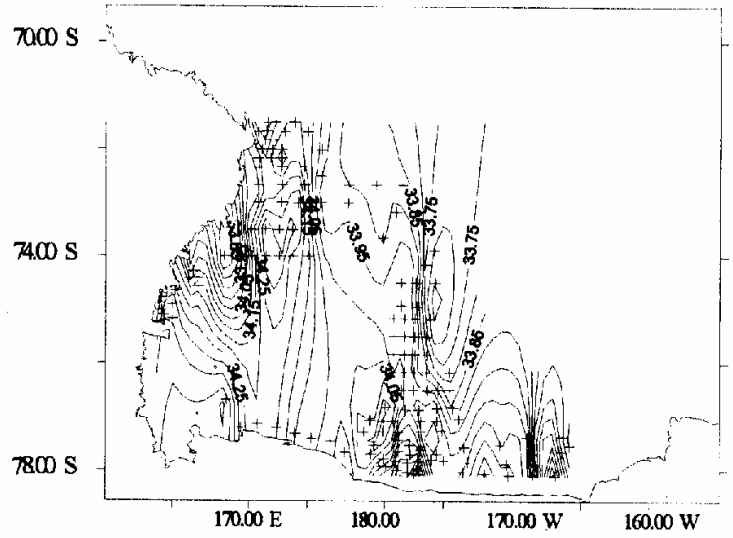


Fig. 9 - Mappa orizzontale di salinità a 15 m di profondità

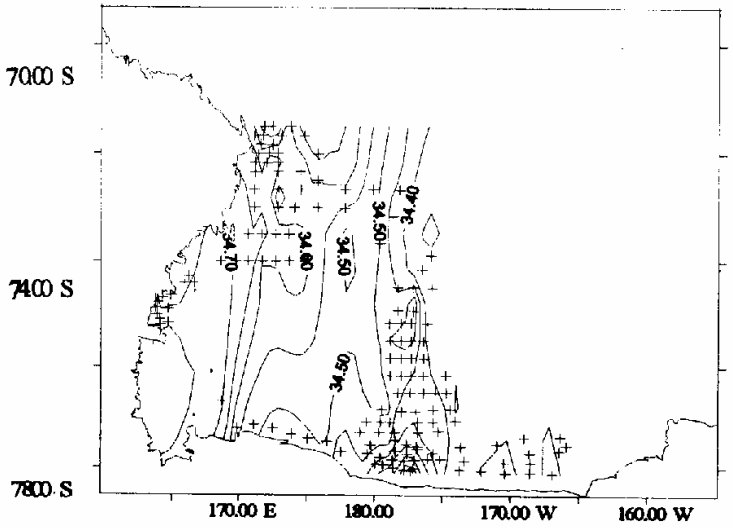


Fig. 10 - Mappa orizzontale di salinità a 140 m di profondità.

La presenza di acque "calde" e "dolci" alla fine del periodo estivo non può essere solo spiegato dal passaggio di vortici anticiclonici. Molto più probabilmente, la loro presenza è legata ad una situazione idrologica "a grande scala", influenzata dallo scioglimento dei ghiacci durante il periodo estivo.

Le correnti mostrano una variabilità interannuale notevolissima. Il movimento sul fondo (fuoriuscita di acqua) della HSSW risulta estremamente variabile. Vi è sempre stata una diversità di opinioni sul cammino della HSSW (se verso Nord o verso Sud, quanto e quando). I dati mostrano che esso varia di anno in anno: il 1995 mostra un alternarsi di movimenti verso Nord e verso Sud; il 1996 mostra movimenti essenzialmente verso Nord; il 1997 mostra movimenti verso Sud solo durante il periodo Settembre - Novembre.

5. MAPPE ORIZZONTALI

Una visione generale viene presentata dalle mappe di salinità. Le figure 9 e 10 mostrano le mappe orizzontali di salinità durante l'estate australe 1995 a 15 e 120 m di profondità.

Esse evidenziano delle caratteristiche tipiche, che si ripetono negli anni, anche se le osservazioni sono in qualche modo influenzate dalla disuniforme distribuzione delle stazioni. La salinità nel periodo estivo risulta essere maggiore nella parte profonda del Mare di Ross, rispetto alla piattaforma. Le poche stazioni ai limiti esterni della piattaforma, indicano che la scarpata continentale impone una circolazione estiva tale da rendere differenti le acque. Si ha infatti una differenza di circa 0.3 psu tra la salinità superficiale sulla piattaforma e quella nel mare profondo. Questa situazione non favorisce il movimento delle acque verso la Baia Terra Nova dal Mare di Ross, per cui possiamo supporre che l'area della baia sia interessata da ‘acque di piattaforma’ (Stocchino, Manzella, *1991).*

Questo è in generale accordo con le misure di corrente che mostrano un prevalente movimento nord-sud. In particolare, le serie temporali indicano che si ha un apporto di acque dolci superficiali dai settori settentrionali. Occorre comunque indagare ancora quale ruolo gioca la enorme lingua di ghiaccio di nome Drygalski sulla circolazione superficiale. Esso infatti costituisce una barriera che limita i movimenti delle acque verso settentrione.

Le singole campagne condotte a grande scala non consentono di chiarire quale possano essere le condizioni idrologiche estive nella Baia Terra Nova, né di individuare eventuali aree privilegiate per la formazione di acque salate.

Le serie temporali mostrano che vi è una notevole variabilità interannuale. Interpretando (in maniera libera ed arbitraria) la maggior o minore presenza di eventi di acque dolci come direttamente legata al maggior o minore calore durante il periodo estivo, il 1997 risulterebbe il più caldo rispetto agli anni precedenti. Questo avrebbe come

conseguenza un maggior scioglimento di ghiacci e maggior influenza sulla circolazione superficiale.

6. CONCLUSIONI

La Fig. 2 mostra schematicamente la tipica situazione di formazione di HSSW e suggerisce le seguenti conclusioni:

a) si ha una variabilità stagionale derivata dalla presenza di acque dolci in Estate e la formazione di HSSW durante l'Inverno. Acque ancora più salate vengono saltuariamente segnalate dagli strumenti;
b) la variabilità interannuale risulta superiore a quella stagionale e legata alle condizioni climatiche locali;
c) il trasporto di HSSW risulta guidato dalla variabilità interannuale;
d) alla fine dell'Estate un probabile brusco e notevole aumento della densità superficiale delle acque, legata alla formazione del primo ghiaccio annuale, ne determina una discesa rapida con conseguente richiamo di acque più calde e meno salate superficiali, presumibilmente da settentrione; le caratteristiche di queste acque sono quelle della AASW (Antarctic surface water) modificata;
e) nuovi sistemi di misura vanno sperimentate in Baia Terra Nova, al fine di poter investigare la variabilità spaziale delle masse d'acqua.

BIBLIOGRAFIA

Bergamasco A., Manzella G.M.R., Meloni R. & Picco P. 1996. Polynya processes in Terra Nova Bay - Ross Sea - Antarctica. International workshop Ross Sea Ecology. Taormina, 14-16 May 1996: 104-106.

Hellermer H.H. & Jacobs S.S. 1995. Seasonal circulation under the eastern Ross Ice Shelf, Antarctica. *J. Geophys. Res.,* 100, C6: 10873-10855.

Jacobs S.S., Amos A.F. & Bruchhausen P.M. 1970. Ross Sea Oceanography and Antartic Bottoni Water formation. *Deep-Sea Res.,* Voi.17: 935-962.

Jacobs S.S. & Comiso J.C. 1989. Sea Ice and Oceanic Processes on the Ross Sea Continental Shelf. *J. Geophys .Res.,* 94 (C12): 18195-19211.

Manzella G.M.R., Meloni R. & Picco P. 1999. Current, Temperature and Salinity Observations in Terra Nova Bay Polynya Area. In: Oceanography of the Ross Sea- Antarctica (Spezie G. & Manzella G.M.R. Eds). Springer Verlag: 165-176.

Picco P., Amici L., Meloni R., Langone L. & Ravaioli M. 1999. Temporal Variability of Currents in the Ross Sea (Antarctica). In: Oceanography of the Ross Sea-Antarctica (Spezie G. & Manzella G.M.R. Eds). Springer Verlag: 103-118.

Picco P., Bergamasco A., Demicheli L., Langone L., Manzella G.M.R. & Meloni R. 1998. Currentmetres measurements in the Ross Sea (Antartica) during 1995/96:

data presentation. Atti XII Congr. AIOL; Vulcano, 21-23 September 1996: 109-120.

Picco P., Bergamasco A., Demicheli L., Manzella G.M.R., Meloni R. & Paschini E. 1999. Large scale circulation features in the central and western Ross Sea (Antarctica). In: Ross Sea Ecology. Italiantartide expeditions (1987-1995) (Faranda F., Guglielmo L. & Ianora A. Eds.). Springer Verlag: 95-106.

PNRA. 1995. Rapporto sulla Campagna Antartica Estate Australe 1994/95. X Spedizione. Progetto Antartide. ANT 95/0.2

PNRA. 1996. Rapporto sulla Campagna Antartica Estate Australe 1995/96. XI Spedizione. Progetto Antartide. ANT 96/0.7

PNRA. 1998. Rapporto sulla Campagna Antartica Estate Australe 1997/98. XIII Spedizione. Progetto Antartide. ANT 98/02.

Stocchino C. & Manzella G.M.R. 1991. Analisi delle correnti marine di Baia Terra Nova (Mare di Ross, Antartide). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Area della Ricerca di Genova, 56 pp.

Lavoro presentato al XIII Congresso A.I.O.L, Portonovo (Ancona), 28-30 settembre 1998