Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 239 - 249.

CARATTERI GEOMORFOLOGICI ED EVOLUZIONE RECENTE DEL TRATTO DI COSTA COMPRESO FRA CAPO S. AMPELIO E CAPO NERO (LIGURIA OCCIDENTALE)

Pierluigi BRANDOLINI, Edoardo G. DE STEFANIS

Istituto di Geografia, Università di Genova

ABSTRACT

Geomorphological features and recent evolution of the coastal zone between Capo S. Ampelio and Capo Nero (Western Liguria - Italy)

A detailed geological and geomorphological mapping has been performed along the coastal zone between Bordighera and Ospedaletti.

This area is strongly modified by human settlement and activities and it is characterized by the presence of rocky coast made of Cretaceous-Paleocenic turbiditic sequences, mainly arenaceous, few narrow gravelly beaches and pliocenic clays and conglomerates outcrops in the western sector, dislocated along two main neo-tectonic directions: NNW-SSE and ENE-WSW. Such directions are also responsable for the geometry of the coastline.

It has been possible to recognize some former marine morphologies and deposits, few outcrops made of sedimentary breccia and some gravitational phenomena which can be explained as the consequence of quaternary evolution of the coast and relative sea level changes.

Among the quaternary deposits, a beachrock has been mapped in detail and it is now object of palaentologic and cronologic study.

Finally the analysis of hystorical cartographic records has been used to reconstruct the changings of the coastline during the last two centuries, mostly following human activity.

1. INQUADRAMENTO GENERALE

Il tratto costiero rilevato, situato nell'estrema Liguria occidentale in provincia di Imperia, si estende per oltre 9 km tra Capo S. Ampelio nel territorio comunale di Bordighera, e Capo Nero, nel comune di Ospedaletti. In esso sfociano alcuni corsi d'acqua, che si sviluppano in piccoli bacini idrografici, su una superficie complessiva di circa 12 km^2.

Si tratta di un'area da tempo fortemente antropizzata, in cui il notevole sviluppo delle attività turistiche, di antica tradizione per Bordighera e di origine più recente per Ospedaletti, unitamente a quelle agricole, ne ha condizionato l'evoluzione morfologica recente (Fig. 1 e 2).

Il litorale si articola in tratti di costa deposita, con spiagge in prevalenza ciottolose, generalmente in erosione, alternati a tratti di costa alta, impostati in roccia, talvolta interessati da frane. Entrambi i morfotipi presentano rilevanti modificazioni artificiali, effettuate negli ultimi decenni attraverso la realizzazione di colmate a mare e di varie opere di difesa.

Le condizioni meteomarine generali del paraggio sono caratterizzate dall'azione

dominante delle mareggiate di libeccio, con un fetch di circa 800 km, e dall'azione regnante dello scirocco, con un fetch di circa 200 km. L'interazione tra i due moti ondosi, i cui effetti si risentono particolarmente nei periodi tardo autunnali e invernali, da luogo ad una deriva litoranea prevalente, in rapporto all'orientazione della linea di costa, verso est.

Fig. 1 - Panoramica del seno costiero di Ospedaletti ripresa da Capo Nero - Col di Rodi; sullo sfondo compare, poco prima di Capo S. Ampelio, la zona interessata dall'antico accumulo di frana di Madonna della Ruota.

Le condizioni geologiche sono caratterizzate dall'affioramento di litotipi arenacei e calcareo-marnosi appartenenti alla falda dei Flysch ad Elmintoidi che, in corrispondenza del T. Vallecrosia, poco ad ovest del limite occidentale dell'area rilevata, si accavalla, tramite il complesso degli "schistes a blocs", al flysch priaboniano del dominio Subalpino, noto in letteratura come Flysch di Ventimiglia.

I termini del Flysch ad Elmintoidi appartengono all'Unità di Sanremo-Monte Saccarello e sono rappresentati dal basso della successione stratigrafica all'alto, dalla formazione delle Arenarie di Bordighera, dai Calcari di Monte Saccarello e dalle Marne di Sanremo (Fig. 3).

Le Arenarie di Bordighera, del Maastrichtiano-Campaniano Superiore (?), rappresentano secondo Sagri (1980), un complesso di conoide sottomarina del tipo "a bassa efficienza di trasporto" caratterizzata da elevato spessore e da contenuto espandimento areale: nella zona studiata affiorano nella facies più prossimale sotto forma di potenti banchi arenaceo-conglomeratici con base gradata e frequenti strutture da corrente; la natura dei clasti è essenzialmente quarzoso-feldspatica e, nei livelli più grossolani, sono riconoscibili graniti, porfidi e gneiss.

Fig. 2 - Panoramica del settore occidentale dell'area studiata con in primo piano Capo S. Ampelio e il porticciolo turistico di Arziglia; sullo sfondo la piana fluvio-costiera su cui si è sviluppata la conurbazione tra Bordighera e Ventimiglia.

I Calcari del Monte Saccarello (Maastrichtiano-Campaniano Superiore) affiorano solo lungo la costa e sono presenti nelle sinclinali nel settore di Ospedaletti ed a NO di Bordighera, al limite occidentale dell'area rilevata. Nella loro facies calcareo-marnosa essi appaiono come una sequenza di strati da medi a spessi, fino a plurimetrici, di marne-calcaree e calcari marnosi a base calcareo arenacea, straterelli compatti di calcari micritici e rare arginiti costituenti i giunti di strato. Il passaggio alla facies marnoso-arenacea avviene tramite un episodio di sedimentazione essenzialmente marnosa , cui seguono alternanze di torbiditi siltoso-arenacee, marne argillose e arginiti marnose (Marne di Sanremo del Maastrichtiano). Nel settore occidentale a quote superiori ai 200 m affiorano lembi plioce nici costituiti da conglomerati e sabbie cementate.

La tettonica legata ai sistemi plicativi dell'orogenesi alpina è caratterizzata da direttrici principali NNE-SSO, a cui hanno fatto seguito, attraverso una tettonica fragile avviatasi per lo meno dal Pliocene, direttrici con orientamento N40° e NI20°-150°.

3. GEOMORFOLOGIA

L'assetto geomorfologico generale dell'area analizzata è stato fortemente condizionato nella sua evoluzione plio-quaternaria dalle caratteristiche geologiche predisponenti. Si può osservare infatti come il profilo costiero attuale ricalchi le principali direttrici tettoniche e come in corrispondenza degli alti strutturali, laddove affiorano le arenarie, si riscontrino i promontori di Capo S. Ampelio e di Capo Nero, mentre in corrispondenza dei bassi strutturali, ove affiorano le meno tenaci formazioni flyscioidi calcareo-marnoso-

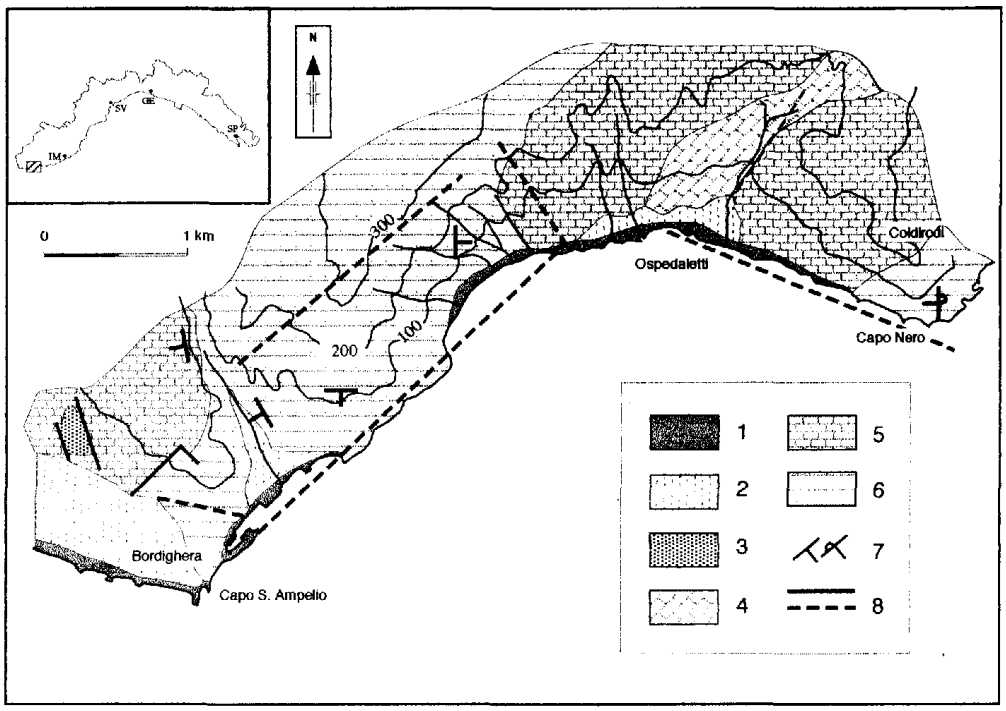


Fig. 3 - Carta geologica schematica: 1) depositi di spiaggia naturali e/o artificiali, colmate a mare e opere portuali; 2) alluvioni fluvio-costiere (recenti e/o attuali); 3) argille sabbie e conglomerati (Pliocene); 4) Marne di Sanremo (Maastrichtiano); 5) Calcari del Monte Saccarello (Maastrichtiano-Campaniano Superiore); 6) Arenarie di Bordighera (Maastrichtiano-Campaniano Superiore (?)); 7) giaciture di strato diritte e rovesce; 8) faglie certe e presunte.

arenacee, si presenti l'arcuatura costiera.

Nell'analisi più di dettaglio delle forme derivate dall'azione marina, nei tratti di costa rocciosa, si sono rilevate diverse tipologie, quali grotte interstrato, solchi di battente, talora legati ad un'azione erosiva selettiva, e tipiche forme subalveolari, presenti diffu samente nelle bancate arenacee (Fig. 4). Lungo tali tratti di costa sono in atto fenomeni di arretramento con frane in roccia, di crollo e scivolamento, particolarmente attive ove le discontinuità strutturali presentano giaciture sfavorevoli (Capo Nero).

I principali tratti di costa deposita, con modeste spiagge prevalentemente ghiaioso ciottolose, sono presenti immediatamente ai lati di Capo S. Ampelio, in corrispondenza rispettivamente della porzione estrema orientale della piana fluvio-costiera del T. Nervia, su cui si sviluppa l'abitato di Bordighera, e della poco estesa piana alluvionale del Rio Sasso. Altre piccole spiagge sono presenti tra Madonna della Ruota e Ospedaletti, ai piedi degli acclivi versanti che incombono sul litorale e ai margini della modestissima piana alluvionale del Rio Crosio. Come meglio esposto nel paragrafo successivo questi arenili risultano oggi, a causa di una pressoché totale mancanza di alimentazione in conseguenza di una serie di interventi antropici, in prevalente erosione.

Tracce di antiche forme e depositi, sempre riconducibili a processi marini, dislocate a quote superiori dell'attuale livello del mare, per la congiunta azione neotettonica e già-

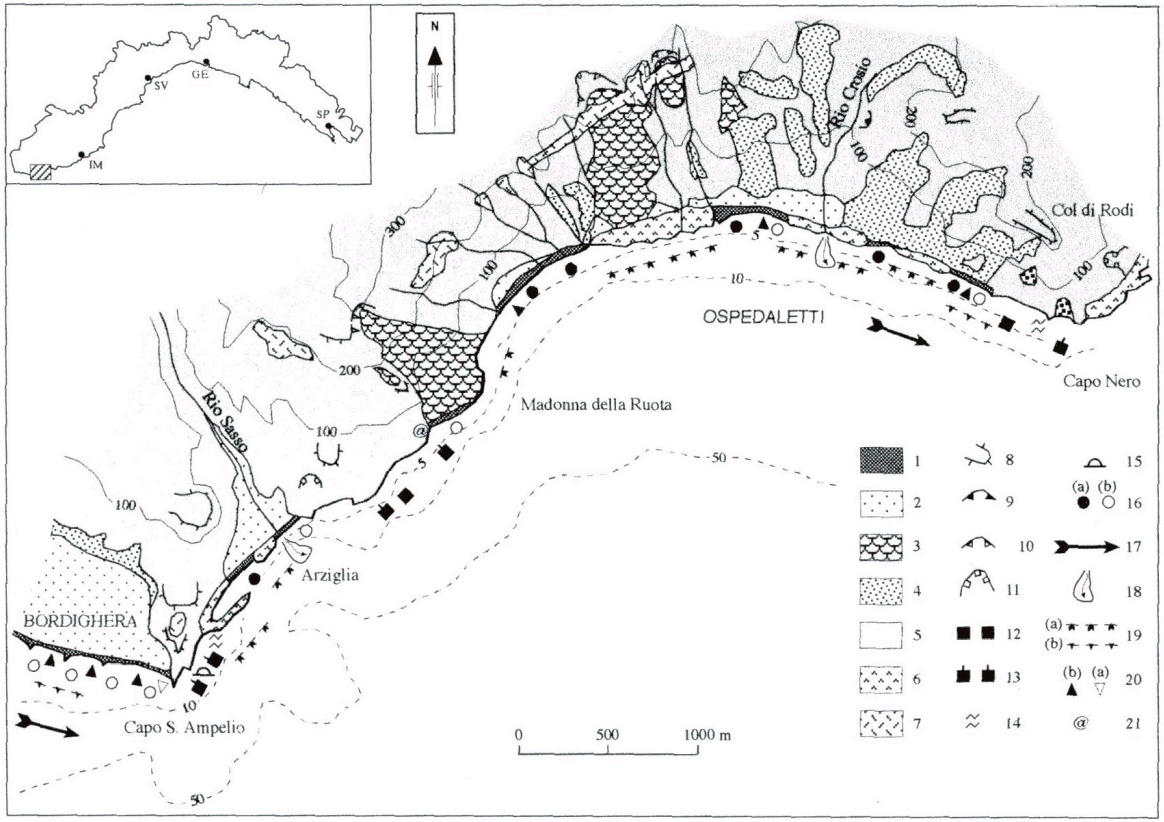


Fig. 4 - Carta geomorfologica di sintesi (da rilevamenti alla scala 1:5.000): 1) depositi di spiaggia; 2) depositi alluvionali fluvio-costieri; 3) antichi accumuli di frana; 4) coltri detritiche eluvio-colluviali di rilevante spessore; 5) coltri eluvio-colluviali di spessore sottile con substrato roccioso affiorante o subaffiorante 6) aree di colmata a mare; 7) aree di discarica e/o sbancamento; 8) orli di terrazzo marino; 9) cigli di distacco attivi in roccia; 10) cigli di distacco quiescenti in roccia; 11) orli di scarpata di cava non attiva; 12) falesie morte; 13) falesie vive; 14) tafoni; 15) grotte interstrato; 16) spiagge con granulometria prevalente sabbiosa (a) o ciottolosa (b); 17) verso del trasporto solido lungo riva; 18) principali apporti torrentizi; 19) opere di difesa aderenti (a) o trasversali (b); 20) tendenza evolutiva della linea di riva in avanzamento (a) o in arretramento (b); 21) affioramento di *beachrock*.

243

cioeustatica plio-quaternaria, sono state rilevate su alcuni versanti. A circa 6 m s.l.m., sulla sommità della falesia in arenaria presente sul margine sudoccidentale dell'accumulo franoso di "Madonna della Ruota", è stato riconosciuto un affioramento di modesta estensione di *beachrock,* mai segnalato in precedenza (Fig. 5a): tale deposito si sviluppa in modo discontinuo lungo un piano, debolmente inclinato verso sud, per un'estensione di circa 20 m ed è costituito prevalentemente da ciottoli pluricentimetrici arenacei con sabbie, limi e resti conchigliari cementati da carbonato di calcio. I frammenti organogeni meglio conservati hanno permesso il riconoscimento, in via preliminare, di valve di *Spondylus* e gusci di *Glauculus Corallinius, Gibula varia* e *Bitium,* la cui associazione è riconducibile ad un ambiente di litorale roccioso sommerso. La *beachrock* poggia, con contatto erosivo, sul substrato arenaceo ed è ricoperta e in parte sostituita da detrito di versante cementato. Data la peculiarità di questo affioramento, che segnala una passata fase di stazionamento del livello del mare, fatto estremamente raro lungo le coste liguri, sono in corso approfondimenti delle analisi di tale deposito.

Le variazioni relative del livello marino sono altresì testimoniate da alcune spianate e per lo più da tratti di cresta subpianeggianti, ritrovati a diverse quote. Sul versante che dal porto turistico di Bordighera si sviluppa sino a Sasso di Bordighera e sul quello che da Capo Nero si erge sino a Col di Rodi sono stati riconosciuti almeno 4 ordini di superfici, a circa 35, 75, 180 e 200 m , oggi in gran parte obliterate dagli insediamenti.

Per quanto riguarda i processi di versante legati all'azione gravitativa e delle acque correnti, e le relative forme ed i depositi, pur con le difficoltà di rilevamento dovute all'alto grado di antropizzazione, sono state cartografate le più potenti coperture detritiche distinguendo i depositi di origine eluvio-colluviale dai corpi di origine franosa. I versanti impostati in arenarie presentano in generale una sottile copertura detritico colluviale con un'altissima percentuale di affioramento del substrato roccioso; laddove esso è invece costituito dai litotipi marnosi e calcareo-marnosi, le coperture sono più estese e possono superare i 3 m in spessore. L'area a monte di Madonna della Ruota, con substrato in facies arenacea è stata interessata da un vasto e potente accumulo di origine franosa, il cui antico ciglio di distacco è ancora in parte riconoscibile intorno ai 280 m di quota (Fig. 6). All'interno del corpo che ha un'estensione areale di 17 ettari, si riconoscono i segni di una complessa evoluzione, in cui si può individuare una parte antica, cementata, ancora oggi osservabile nello spaccato stradale dell'Aurelia tra Ospedaletti e Bordighera, e un porzione più superficiale, sciolta, la cui unghia termina in mare a costituire la punta di Madonna della Ruota.

Depositi di analoga origine, composizione e grado di cementazione, più ridotti e rimodellati dall'erosione marina, sono stati ritrovati lungo tutta la costa e sono interpretabili come crolli e ribaltamenti lungo le falesie in arenaria.

Ad eccezione del bacino del Rio Sasso (6 km^2), i torrenti che sfociano tra Capo S. Ampelio e Capo Nero hanno bacini imbriferi molto modesti, con un'estensione areale media pari a circa 1 km^2, e sono caratterizzati da un profilo acclive con pendenze medie dell'ordine del 20%.

In assenza di stazioni di misura, una valutazione di massima degli apporti solidi dei corsi d'acqua può essere ricavata dalle relazioni suggerite da Ciccacci *et al.* 1981, che hanno indicato valori di trasporto torbido medio pari a 450 t/km^2, per i rii impostati prevalentemente sulle Arenarie di Bordighera, e valori superiori a 500 t/km^2 per i corsi d'acqua della zona di Ospedaletti impostati sul flysch calcareo-marnoso. Questi valori teorici, discretamente elevati avvallano l'ipotesi di come l'equilibrio degli arenili fosse legato in gran parte ad un'alimentazione oggi drasticamente ridotta dalle rilevanti variazioni nell'uso e nella copertura del suolo, nonché dagli interventi lungo il litorale stesso.

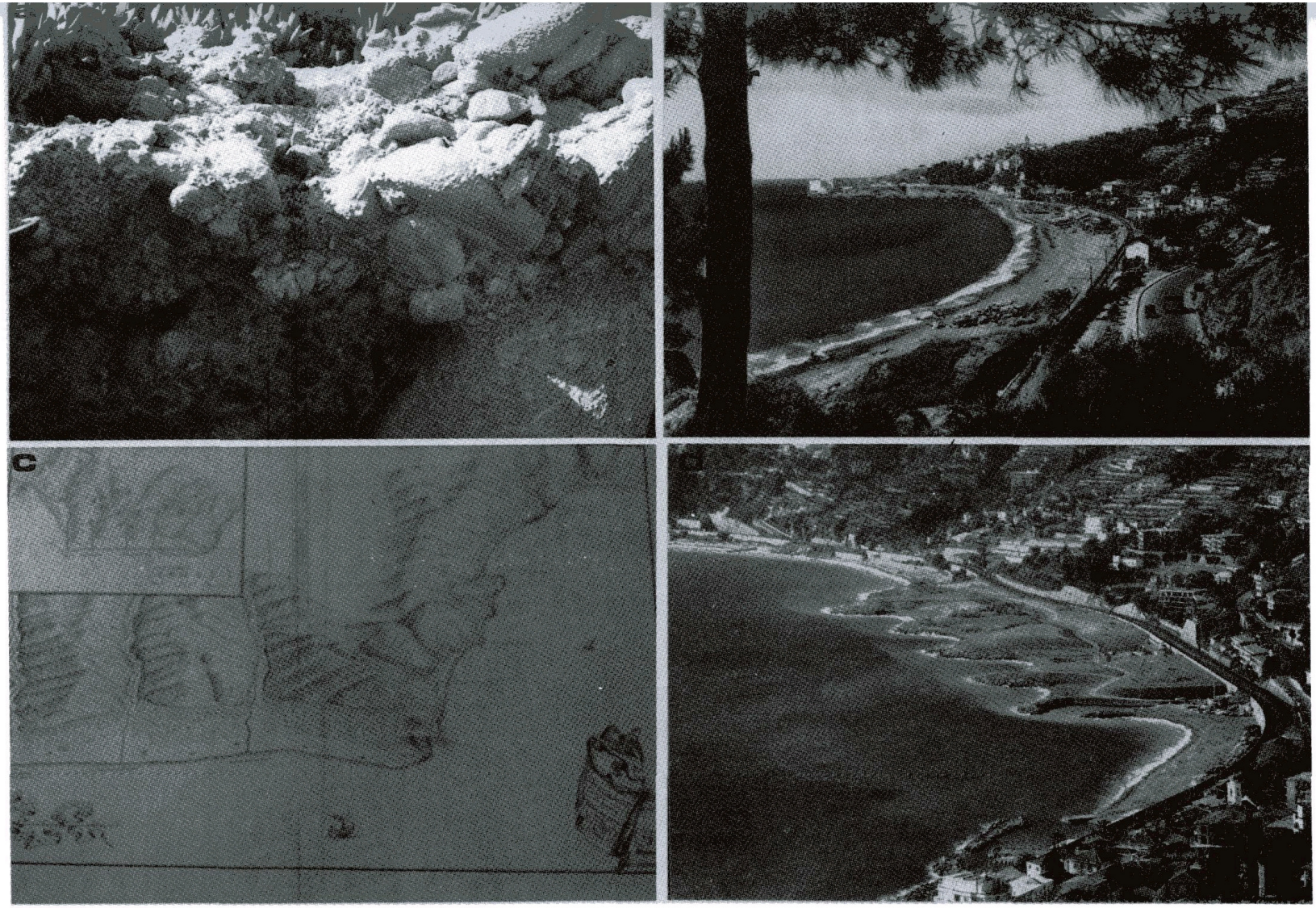


Fig. 5 - Foto a: Particolare dell'affioramento di *beachrock* presente sulla falesia in arenaria a circa 6 m in prossimità di Madonna della Ruota. Foto b: il litorale di Arziglia negli anni Quaranta, prima della costruzione del Porticciolo turistico. Foto c: Carta storica di Matteo Vinzoni (1750) del tratto costiero di Bordighera e in parte di Ospedaletti; in basso a destra compare Capo S. Ampelio. Foto d: esempio delle discariche a mare realizzate lungo il litorale di Ospedaletti tra il 1985 e il 1991.

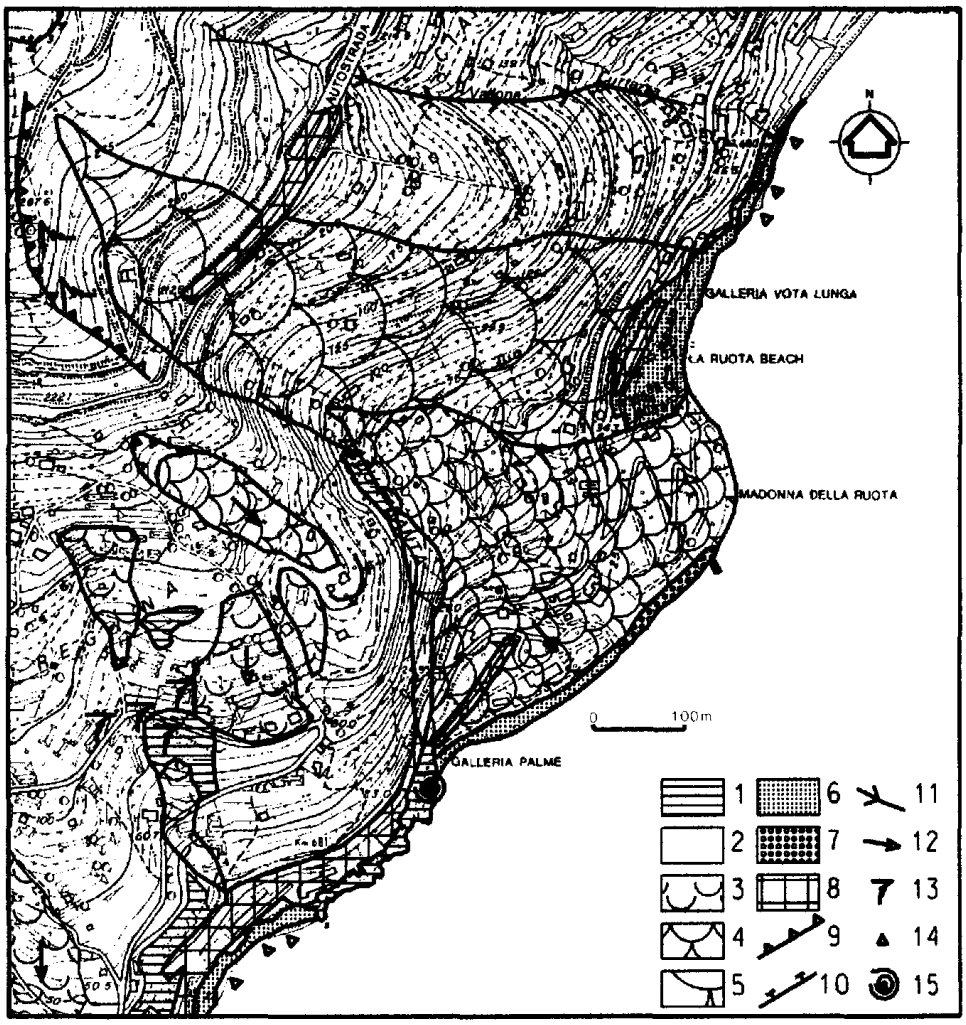


Fig. 6 - Carta geomorfologica di dettaglio della zona di "Madonna della Ruota" (da rilevamenti alla scala 1:5.000): 1) roccia affiorante; 2) coperture detritiche sottili e discontinue; 3) coperture con spessore superiore ai 3 m, di origine mista detritico-colluviale; 4) corpi di frana quiescenti; 5) corpo di frana cementato (Madonna della Ruota) 6) depositi di spiaggia sabbioso-ciottolosi; 7) depositi di spiaggia ciottolosi; 8) riporti; 9) orlo di scarpata di frana; 10) orlo di terrazzo marino; 11) alveo con tendenza all'approfondimento; 12) direzione di mobilizzazione dei materiali sciolti; 13) ruscellamento diffuso; 14) linea di riva in arretramento; 15) deposito di *beachrock*.

4. VARIAZIONI DELLA LINEA DI RIVA

Sulla base di una serie di documenti cartografici rilevati a partire dal XVIII secolo è stato possibile delineare l'assetto morfologico pressoché "naturale" originario del litorale in oggetto, ed i suoi cambiamenti avvenuti in particolare nel corso dell'ultimo secolo a seguito degli interventi antropici.

In una carta di Matteo Vinzoni del 1750 si può osservare come nel tratto di costa

immediatamente ad ovest di Capo S. Ampelio, la piana alluvionale fosse caratterizzata da aree paludose con numerosi stagni costieri. Questo tratto di costa deposita era delimitato a mare da un'ampia spiaggia, la cui larghezza si può stimare intorno ai 70-100 m, probabilmente bordata sul retro da estesi cordoni dunari (Fig. 5C).

Tali condizioni iniziarono a mutare in modo incisivo nella seconda metà del XIX secolo con l'avvio delle opere di bonifica delle suddette zone acquitrinose e soprattutto negli anni 1870/1880 con la costruzione della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia e della passeggiata a mare di Bordighera, impostate immediatamente a ridosso della spiaggia. Dal confronto di molteplici carte storiche (Ascari *et al.,* 1937) è emerso un marcato arretra mento della linea di riva, oscillante mediamente tra 10 e 20 m, tra il 1880 e il 1907, che prosegue con altrettanta intensità nei decenni successivi e nel 1934 la battigia andava quasi a lambire i muri di contenimento del terrapieno della passeggiata a mare, segnalando una ulteriore regressione dì circa 15/20 m (Fig. 7).

Nel periodo seguente e sino al 1970, il progressivo prolungamento articolato in più fasi del pennello di Capo S. Ampelio ha favorito, nel tratto immediatamente ad ovest dello stesso, un riequilibrio del profilo della spiaggia, che progredisce sino alla situazione degli inizi del secolo, grazie alla prevalente deriva litoranea verso levante. Tra il 1970 ed oggi (1996) si è registrata invece una inversione di tendenza con una nuova regressione della linea di riva, via via più marcata verso ponente, che tende a riportarsi, nonostante la costruzione di diversi pennelli, sulla posizione degli anni Trenta, con arretramenti variabili dell'ordine della decina di metri.

Nel tratto di costa immediatamente a levante di Capo S. Ampelio, nella carta storica del Vinzoni, si può notare come la spiaggia di Arziglia fosse molto più ampia rispetto all'attuale. Già a partire dai primi decenni del Novecento la linea di riva di Arziglia inizia ad arretrare sensibilmente, almeno una ventina di metri, rispetto alla situazione del 1880.

Come visibile in una foto degli anni Quaranta (Fig. 5b) la spiaggia risultava in quel periodo in condizioni critiche, sia per la progressiva diminuzione degli apporti provenienti da ponente, causata dal potenziamento del pennello di Capo S. Ampelio, sia per la costruzione della linea ferroviaria in fregio all'arenile. L'assetto di questo tratto di costa muta drasticamente pochi anni dopo, tra il 1955 e il 1960, con la costruzione di un porticciolo turistico e di un'ampia colmata a mare, impostati lungo la falesia di Capo S. Ampelio e sulla porzione sudoccidentale dell'arenile di Arziglia (Fig. 2). Da tali interventi consegue la morfologia attuale della spiaggia, che, praticamente, riceve apporti naturali in modestissima quantità dal solo Rio Sasso.

Il litorale di Ospedaletti che nelle carte del XVIII secolo appariva caratterizzato da un'estesa spiaggia, ne è oggi pressoché privo: ciò è da imputarsi sia alle caratteristiche geomorfologiche predisponenti che ad una serie di interventi antropici. Già alla fine del secolo scorso, dopo la costruzione della linea ferroviaria, si sono verificati forti fenomeni erosivi, con interessamento del tracciato; per ovviare a questo, furono realizzate in quell'epoca le prime opere di difesa che limitarono solo parzialmente l'arretramento progressivo della linea di riva (Ascari *et al.,* 1937). Nel 1920/22 si effettuarono abbondanti ripascimenti artificiali con i materiali detritici provenienti dagli scavi di una nuova galleria ferroviaria in corrispondenza di Capo Nero: i risultati furono effimeri in quanto i sedimenti, a causa della forte dinamica litoranea, venivano rapidamente sottratti alla spiaggia. Altri versamenti a mare furono effettuati negli anni Sessanta a seguito dei lavori per la costruzione dell'autostrada: questi diedero origine alle prime aree di colmata a mare arginate da poderose opere di difesa aderenti.

Infine si devono ricordare le ingenti discariche a mare realizzate tra il 1985 e il 1991 (Fig. 5D) per smaltire i materiali provenienti dagli scavi per il raddoppio della linea ferroviaria, con un ammontare complessivo di circa 500.000 m^3 di detriti, di cui 125.000 dispersi dalla deriva lungo costa verso est (Cortemiglia, 1992).

L'insieme degli interventi descritti ha portato ad una pressoché completa artificializzazione della costa analizzata, che oggi appare caratterizzata da tratti in cui senza soluzione di continuità si alternano terrapieni a mare, opere di difesa aderenti, cementificazioni varie e residui lembi di spiaggia mantenuti con ripascimento artificiale, ma sempre interessati da progressivi fenomeni di arretramento.

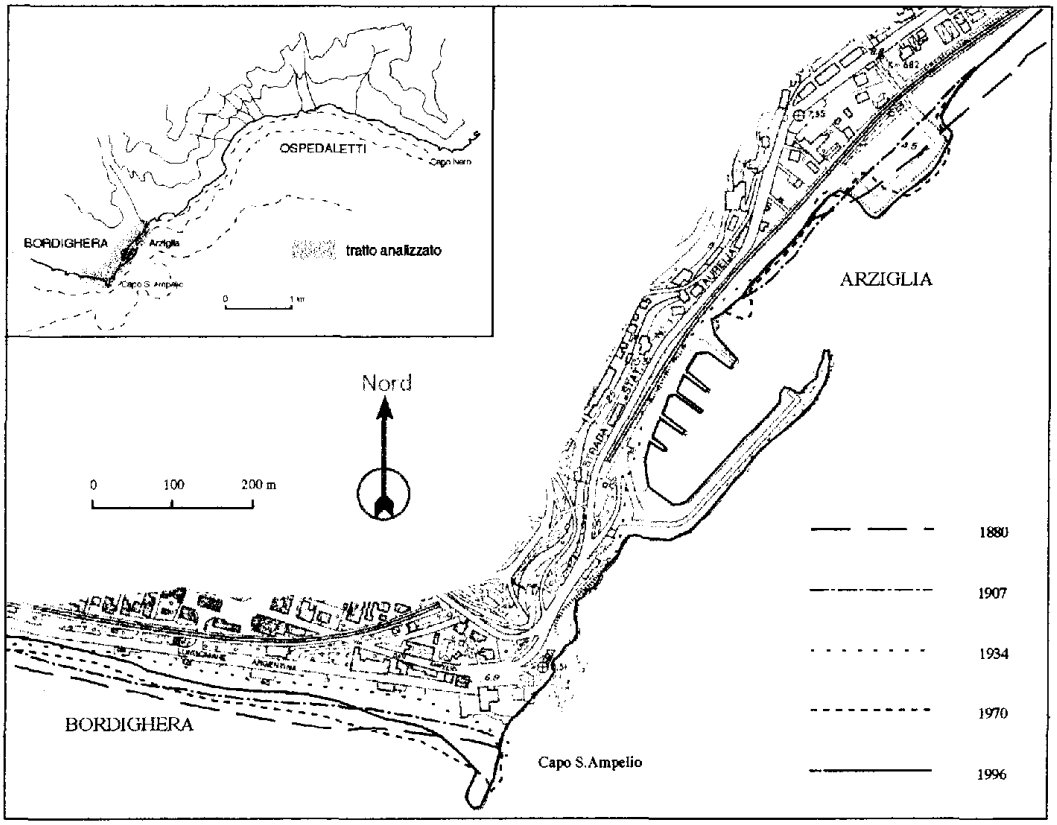


Fig. 7 - Variazioni della linea di riva tra il 1880 ed il 1996 nel tratto costiero in prossimità di Capo S. Ampelio.

5. CONCLUSIONI

Gli studi condotti hanno consentito il riconoscimento di varie evidenze geomorfologiche quaternarie, attribuibili a processi marini e di versante. L'approfondimento delle indagini su alcuni dei più significativi fenomeni rilevati, quali i depositi di *beachrock* e l'antico accumulo di frana presso Madonna della Ruota, potrà condurre ad una migliore definizione del quadro complessivo degli eventi morfo-tettonici che hanno portato alla fisiografia attuale.

Per quanto riguarda le variazioni della linea di riva, avvenute in particolare nel corso dell'ultimo secolo, va rimarcata la sempre più preponderante componente antropica sulle dinamiche costiere. Dall'analisi multitemporale è emersa una tendenza globale all'arretra mento dell'intero tratto di litorale, a cui è stato fatto fronte con diversificati interventi di difesa e ripascimento, tuttora in corso, che hanno condotto ad una pressoché totale artificializzazione della costa, senza comunque porre soluzione alle problematiche erosive in atto.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Prof.ssa Sandra Conti dell'Università "La Sapienza" di Roma per riconoscimento paleontologico dei campioni rinvenuti nella *beachrock.*

BIBLIOGRAFIA

Ascari M., Baccino L. & Sanguinea G. 1937. Le spiagge della riviera ligure. Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane. CNR, Roma.

Beriolo G. & Sirito G. 1972. Spiagge e porti turistici. Hoepli Ed., Milano

Boni A. 1984. Il Pliocene e la neotettonica nelle Alpi Liguri - *Meni. Soc. Geol. It.,* 28: 229-265.

Boni A., Boni P., Mosna F. & Peloso G.F. 1983. Rinvenimento del Pliocene Superiore (e del Pleistocene marino?) nelle colline tra Ventimiglia e Bordighera (Liguria occidentale). *Atti Istituto di Geologia dell'Università di Pavia,* 30: 182-188.

Brandolini P., Fierro G., Firpo M., Piccazzo M. & Terranova R. 1994. Esempi di interazione tra fattori naturali ed interventi antropici nell'evoluzione recente della fascia costiera ligure. Studi geografici in onore di Domenico Ruocco. voi. I: 41-55.

Brandolini P. & Spotorno M. 1996. Evoluzione recente del litorale compreso tra Capo Noli e Punta Bergeggi (Liguria occidentale). *Atti del 11° Congresso A.I.O.L.,* Sorrento 26-28 ottobre 1994: 201-208.

Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E. & Pugliese F. 1980. Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. *Boll. Soc. Geol. It.,* 99, 4: 455-516.

C.N.R. - Ministero della Pubblica Istruzione. 1989. Atlante delle spiagge italiane - Dinamismo, tendenza evolutiva, opere umane. SELCA, Firenze

Cortemiglia G.C. 1976. Drift litoranee sulla spiaggia di Ospedaletti (Liguria occidentale). *Atti del 2° Congresso A.I.O.L.,* Genova 29-30 novembre 1976: 201-208.

Cortemiglia G.C. 1992. Verifica degli effetti indotti da consistenti ripascimenti di battigia sui caratteri morfobatimetrici della spiaggia sommersa di Ospedaletti (Liguria occidentale - Italia). Atti del congresso "Genova, Colombo, il mare e l'emigrazione Italiana nelle Americhe". Genova 4-9 maggio 1992.

Lanteaume M. 1991. Carte géologique de la France à 1/50.000 - "Viève-Tende" – Ministè re de l'industrie e de l'aménagement du territoire. Bureau de recherches géologique etminiéres - Service Géologique National.

Limoncelli G. & Marini M. 1968. Indagini sulle risorse paesaggistiche della Liguria .

Regione Liguria. 1997. Carta Geologica con elementi di geomorfologia: Tavoletta n° 258.1. "BADALUCCO".

Sagri M. 1980. Le Arenarie di Bordighera: una conoide sottomarina nel bacino di sedimentazione del Flysch ad Elmintoidi di Sanremo (Cretaceo Superiore - Liguria occidentale). *Boll. Soc. Geol. It.,* 99.

Servizio Geologico d'Italia 1928. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 102 "SAN REMO".

Vanossi M. 1965. Studio sedimentologico dei Flysch a helmintoidi della Valle Argentina. *Atti dell'Istituto di Geologia dell'Università di Pavia,* 16: 36-71.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 251 - 262.

MISURE CORRENTOMETRICHE NEI MARI CALABRESI

Eugenio PUGLIESE CARRATELLI[1], Giuseppe SPULSI[2], Paolo VELTRI[3]

[1] Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno
[2] Istituto di Meteorologia ed Oceanografia, Istituto Universitario Navale
[3] Dipartimento di Difesa del Suolo, Università della Calabria

ABSTRACT

A relevant sea current measuring activity was carried out over a number of years in the coastal seas around Calabria. By collecting and analysing a number of time series, some useful information can be obtained about the time variation of coastal currents over short periods.

Tide related frequencies are always present, but the ratio between the diurnal and the semidiurnal components varies according to the location and the depth and a relevant fraction of the total energy is also consistently found at intermediate frequencies.

Results thus obtained are necessary in order to assess the performance of existing or proposed sewage outfalls and may also provide a useful benchmark for circulation models.

1. PREMESSA

Nel corso degli anni sono state effettuate molte campagne di misure correntometriche nei mari circostanti alla Calabria, su programmi e con obbiettivi diversi ma con metodologie analoghe. Mettendo assieme i dati così ottenuti, grazie alla cooperazione tra gli Istituti che li hanno prodotti, si arriva a disporre di varie serie plurigiornaliere di valori di velocità campionati con intervalli dell'ordine di 5-10 minuti a diverse profondità ed in diversi siti, e sempre in estate. In figura 1 è possibile vedere le posizioni delle catene correntometriche.

L'Istituto di Meteorologia ed Oceanografia dell'Istituto Universitario Navale di Napoli, in collaborazione con la Marina Militare nel quadro del progetto EOCUMM94 (Progetto Nazionale Biennale per la caratterizzazione ambientale marina del sistema Eolie e dei bacini limitrofi di Cefalù e Gioia. Organizzato dal Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare [CONISMA]) ha eseguito rilievi nei mesi di giugno e luglio 1994 e luglio 95 nel Canale della Salina (Posizione X) e nel Golfo di Gioia Tauro (Posizione Y). Lo stesso Istituto, negli anni tra il 1979 ed il 1981 aveva

svolto indagini correntometriche nel Golfo di Tarante, di cui sono disponibili le registrazioni per le posizioni A, D, C, E, F.

Il Dipartimento di Difesa del Suolo dell'Università della Calabria, nell'ambito di ricerche finanziate dal Piano Operativo Plurifondo 92-93 "Sviluppo di Sistemi Avanzati per la Protezione dei Litorali e la Gestione delle Fasce Costiere" ha inoltre eseguito una campagna di rilievi correntometrici al largo della città di Scalea (Posizione Z) nel luglio-agosto 1994.

Fig. 1 - Posizione delle catene correntometriche

2. DATI IMPIEGATI

La seguente tabella riassume i dati disponibili con le loro caratteristiche principali:

Tabella 1

Campagna	Prof. Rilievo (Prof. Fondo)	Periodo	Per. Reg.	Inter. Camp.	Strumento	Origine (*)
A1-1	20 (1110)	06/79	27 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
E1-1	20 (22)	06/79	25 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
C1 1	20 (56)	06/79	27 g	5'	Aanderaa RCM4	IUN
A2-2	480 (1110)	04/80	10 g	5'	Aanderaa RCM4	IUN
A2-3	1065 (1110)	04/80	10 g	5'	Aanderaa RCM4	IUN
C2-1	20 (56)	04/80	7 g	5'	Aanderaa RCM4	IUN
E2-1	20 (22)	04/80	7 g	5'	Ihedrowerke	IUN
A3-1	20 (1110)	07/81	11 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
A3-2	555 (1110)	07/81	11 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
A3-3	1015 (1110)	07/81	11 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
E3-1	20 (22)	07/81	11 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
F3-1	20 (111)	07/81	11 g	10'	Aanderaa RCM4	IUN
Salina X1-1	20 (385)	07/94	14 g	10'	Aanderaa RCM7	EOCUMM94
Salina X2-1	350 (385)	07/94	14 g	10'	Aanderaa RCM7	EOCUMM94
Salina X1-2	20 (385)	06/95	28 g	10'	Aanderaa RCM7	EOCUMM94
Salina X2-2	350 (385)	06/95	28 g	10'	Aanderaa RCM7	EOCUMM94
Gioia TauroY1	20 (415)	07/94	14 g	10'	Aanderaa RCM7	EOCUMM94
Gioia TauroY2	350 (415)	07/94	14 g	10'	Aanderaa RCM7	EOCUMM94
Scalea Z1	4 (22)	25/7/94	27 g	10'	Aanderaa RCM6	POPCalabria
Scalea Z2	14 (22)	25/7/94	27 g	10'	Aanderaa RCM6	POPCalabria
Scalea Z3	21 (22)	25/7/94	27 g	10'	Aanderaa RCM6	POPCalabria

(*) I.U.N.: Istituto di Meteorologia ed Oceanografia dell'I. U. N. Napoli, con fondi CNR e Ministero della Pubblica Istruzione

EOCUMM94: IUN in collaborazione con la Marina Militare, nell'ambito del progetto EOCUMM94

POP Calabria: Dipartimento Difesa del Suolo dell'Università della Calabria, nell'ambito del Piano Operativo Plurifondo 1992-1993 "Sviluppo di Sistemi Avanzati per la Protezione dei Litorali e la Gestione delle Fasce Costiere"

Si tratta in tutti i casi di rilievi eseguiti con catene ancorate al fondo e correntometri sospesi posti a diversa profondità muniti di registrazione magnetica (Aanderaa) o su pellicola (Ihedrowerke) in quest'ultimo caso i dati sono stati ricavati dalle fotografie e quindi digitalizzati a mano.

La tabella riporta unicamente le serie di dati che sono state effettivamente analizzate; sono infatti anche disponibili alcune serie più brevi (dell'ordine dei 2-3 giorni) che non sono state considerate per l'impossibilità di trame informazioni utili nell'ambito di

questo lavoro, che come si vedrà nel seguito, riguarda in special modo movimenti con periodi dell'ordine di varie ore.

Va inoltre notato che nel sito Z, al largo di Scalea furono installate due catene correntometriche a breve distanza tra di loro, per le specifiche necessità di quell'indagine (Veltri *et al.,* 1996a, Veltri *et al.,* 1996b). L'analisi qui presentata considera solo i dati di una di esse poiché, dal punto di vista della circolazione generale, i risultati ottenuti nelle due catene sono assolutamente equivalenti, mentre per quello che riguarda le considerazioni relative alle condotte di scarico a mare essi sono stati ampiamente studiati e discussi nella bibliografia citata.

3. ANALISI DEI DATI

Le serie temporali descritte nel paragrafo sono costituite dai valori del modulo di velocità e della sua direzione; da questi si sono ottenuti le serie delle componenti Nord-Sud ed Est-Ovest e si è calcolata la trasformata di Fourier per ciascuna di esse. Il numero di dati impiegati per le analisi spettrali è la più grande potenza di 2 compresa nel numero di dati originariamente disponibile, che è a sua volta ricavabile dalla tabella 1, considerando la durata delle serie e l'intervallo di campionamento. Questi stessi elementi consentono di stabilire il minimo ed il massimo periodo ricavabili. Il primo è dell'ordine della decina di minuti, mentre il secondo dipende dalla lunghezza dei periodi di misura che è in tutti i casi di alcuni giorni.

I risultati sono esposti in periodogrammi, in diagrammi cioè in cui l'ascissa riporta il periodo anziché la frequenza offrendo quindi una lettura più immediata. Nelle figura da 2 a 7 sono riportati alcuni esempi. Sulla base di questi elementi è possibile trarre alcune considerazioni. La prima, e più ovvia, è la presenza, in quasi tutti gli spettri, di valori rilevanti in vicinanza dei periodi di 24 e 12 ore, corrispondenti alle principali componenti della marea rispettivamente diurne e semi diurne; è tuttavia impossibile distinguere tra le diverse componenti all'interno dei due intervalli. Nell'intervallo tra le 12 e le 24 ore sono presenti peraltro molte altre frequenze, tanto che in molti casi non è neanche possibile identificare dei veri e propri picchi, specialmente per le stazioni più lontane dallo Stretto

Le misure eseguite nel Golfo di Gioia Tauro presentano in maniera assai marcata l'influsso delle maree, e particolarmente nella componente Est-Ovest. Vanno notati tuttavia due aspetti: il primo è l'intensità particolarmente alta delle componenti diurne rispetto a quelle semidiurne; nello Stretto di Messina infatti il rapporto tra le prime e le seconde sembra oscillare tra 1/2 ed 1/3 (Tomasin & Tomasino, 1980), mentre nel nostro caso tale rapporto, pur non facilmente quantificabile, sembra essere maggiore. L'altro aspetto notevole è la presenza, in tutti i periodogrammi - con l'eccezione di quello relativo alla componente Sud-Nord rilevata dal correntometro più profondo - di un sensibile picco in corrispondenza di un periodo di circa 19 ore.

Esaminando i risultati delle altre stazioni del Tirreno, entrambi questi aspetti vengono confermati: si vedano ad esempio gli spettri relativi alle misure del canale della Salina dove ancora sono distinguibili le componenti marcali e dove, in maniera consistente da un anno all'altro, si ritrova il picco attorno alle 18-19 ore.

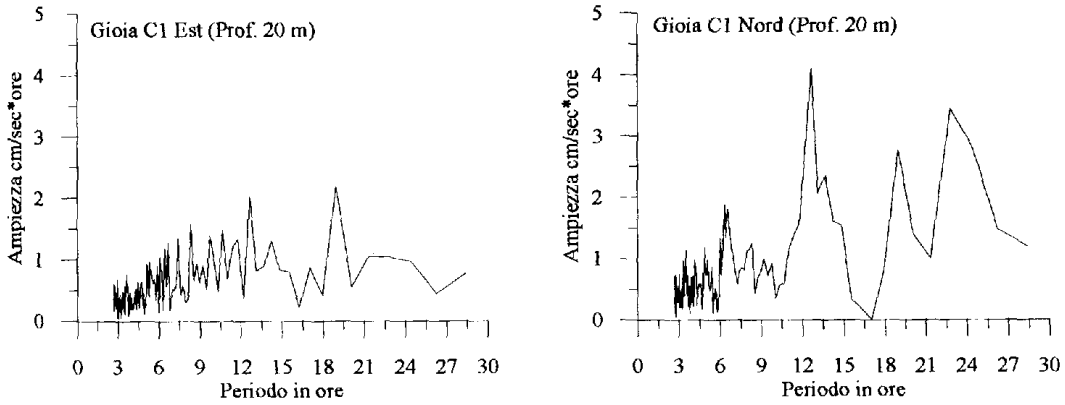


Fig. 2 - Analisi spettrale per i correntometri in superficie di Gioia Tauro

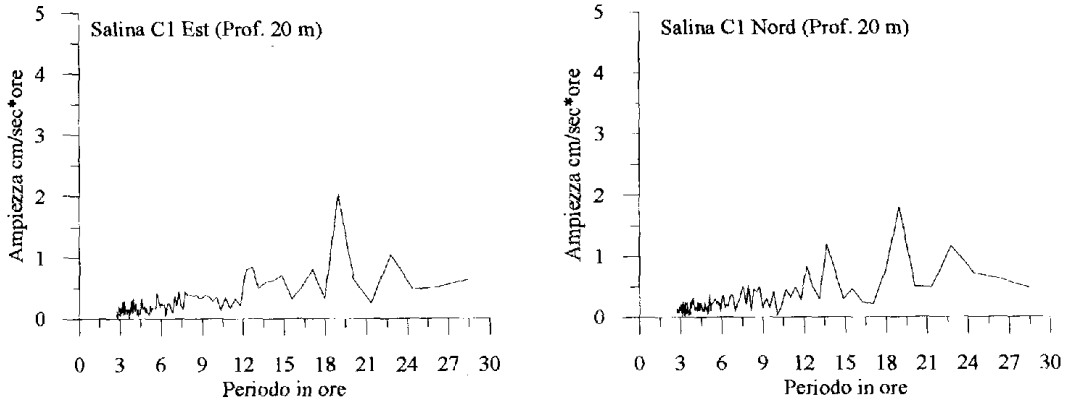


Fig. 3 - Analisi spettrale per i correntometri in superficie di Salina

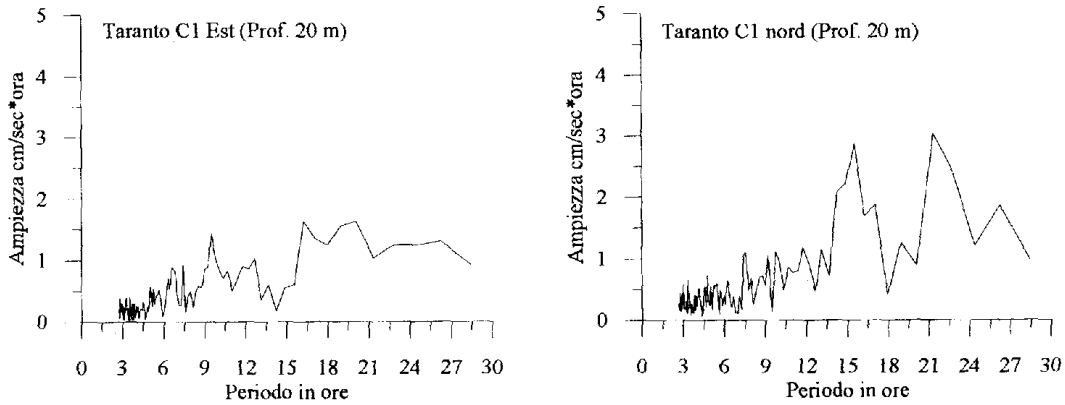
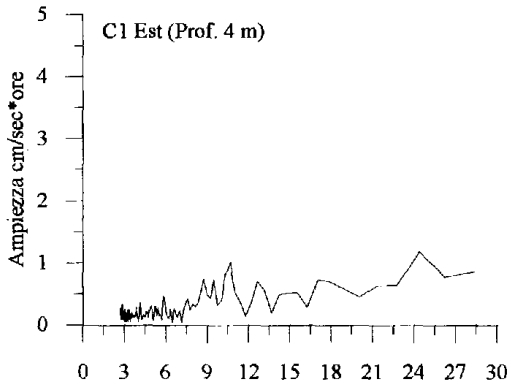


Fig. 4 - Analisi spettrale dei correntometri in superficie di Taranto

Analisi Spettrale dei correntometri in superficie
per la catena correntometrica posta al largo di Scalea



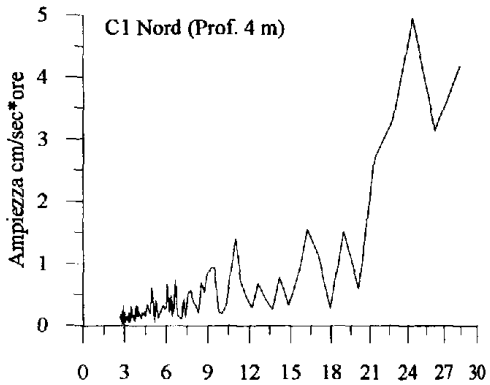
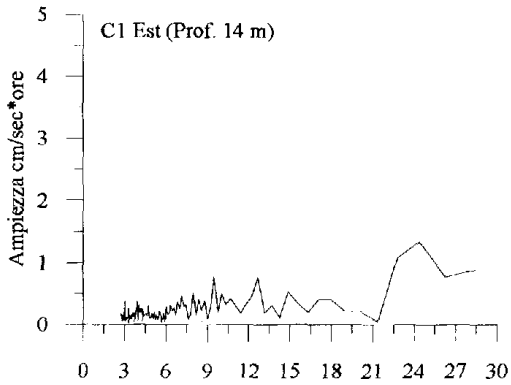


Fig. 5



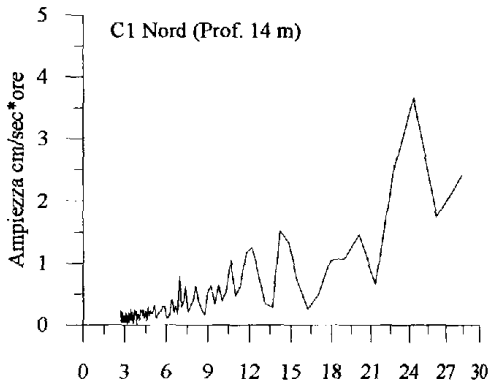
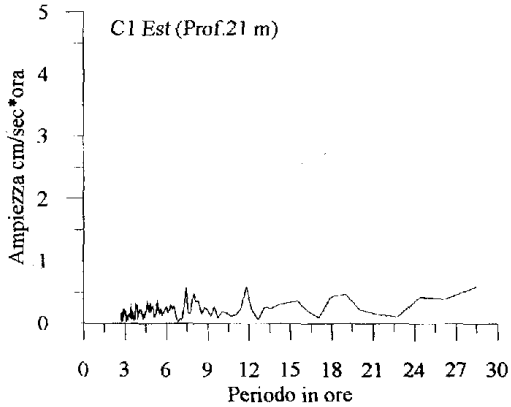


Fig. 6



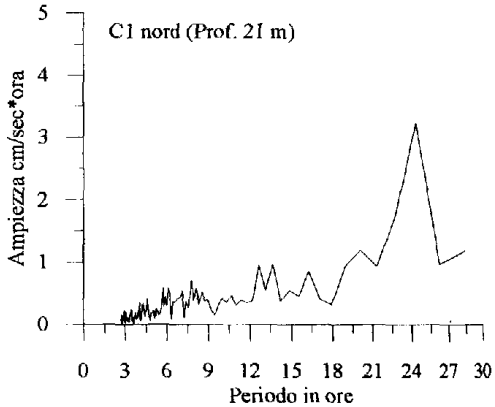


Fig. 7

A Scalea, infine, il rapporto tra le intensità della marea diurna rispetto a quella semidiurna è decisamente invertito (la marea semidiurna è colà praticamente impercettibile), mentre si può discernere, sia pure appena accennata la solita componente attorno alle 19 ore. E' bene ricordare che le misure di Scalea sono riferite ad un fondale nettamente più basso rispetto a tutti gli altri dati, e l'influenza del fondo e della costa sono quindi in questo caso nettamente preponderanti. Considerazioni analoghe, per quanto riguarda la marea, si possono fare per il sito A nel mare Ionio, dove specialmente l'analisi della componente Nord-Sud, evidenzia ancora la prevalenza della componente diurna su quella semidiurna; non è qui presente alcun picco intorno alle 18 ore, mentre ne è presente uno intorno alle 15 ore, che peraltro non è visibile nei dati ottenuti da correntometri posti sulla stessa catena a profondità maggiori. Qualcosa di analogo si riscontra per la stazione E e per la stazione C, in maniera tuttavia non così netta e consistente come nel Tirreno.

Con gli stessi dati è possibile ottenere altre utili indicazioni con semplici correlazioni ed analisi di frequenza. Come si vede nella figura 8 (relativa al correntometri Yl - Y2 posti a 20 m e 350 m), la correlazione tra i moduli delle velocità è molto bassa; tuttavia essa aumenta all'aumentare della separazione temporale tra le due serie, fino a raggiungere un massimo per un intervallo compreso tra le 4 e le 6 ore. Ciò suggerisce un ritardo di fase tra diverse componenti oscillatorie, e questa impres-sione si conferma esaminando la densità di distribuzione di frequenza empirica dell'angolo compreso tra i due vettori velocità misurati dai due correntometri di cui sopra.

Si veda ad esempio il diagramma della figura 9, relativo agli stessi correntometri, in cui si rileva la presenza di una distribuzione bimodale, con i massimi corrispondenti a circa -30° ed a circa 150° gradi; resta da verificare il significato e l'interpretazione fisica di questo fenomeno che peraltro è riscontrabile anche in alcune altre serie esaminate. Per quello che riguarda Scalea (Fig. 10 e 11) la cosa invece non si verifica, o si verifica in maniera appena percettibile, il che è giustificabile ricordando che questa stazione di misura è localizzata ad una profondità dello ordine dei 4 - 20 m, molto minore di quella delle altre.

4. CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI

Questa memoria presenta dati sperimentali già esistenti ma non pubblicati finora nella loro interezza, e si propone di evidenziare l'utilità di analizzarli globalmente. L'obbiettivo di tale lavoro è duplice: da una parte esso contribuisce alla taratura di modelli di circolazione non stazionari producendo informazioni in merito ai periodi di oscillazione che non sono immediatamente evidenti quando si esamini il singolo rilievo sperimentale; d'altra parte i dati disponibili, anche nella forma attuale, possono essere di utilità per la pianificazione, la progettazione e la Valutazione di Impatto Ambientale di scarichi a mare, ed in particolare di condotte sottomarine, fornendo elementi di carattere statistico riguardo al clima correntometrico. Quest'ultima considerazione vale naturalmente in maniera prevalente per le correnti della fascia costiera.

L'andamento temporale della corrente in un sito è il risultato di molti fenomeni sovrapposti; tra questi risulta evidente l'importanza delle forzanti marcali che però

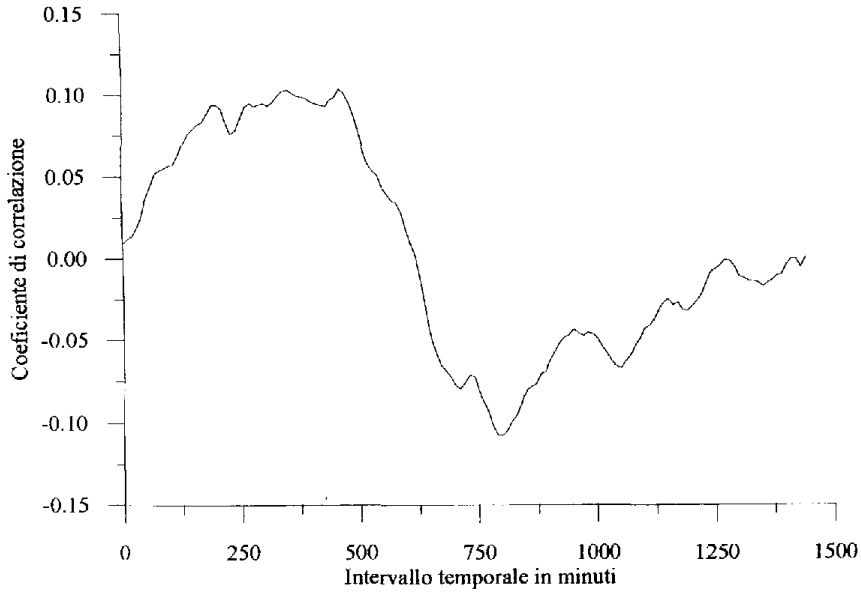


Fig. 8 - Correlazione tra i moduli della velocità per i correntometri Y1 - Y2 periodo 0794 posti a Gioia.

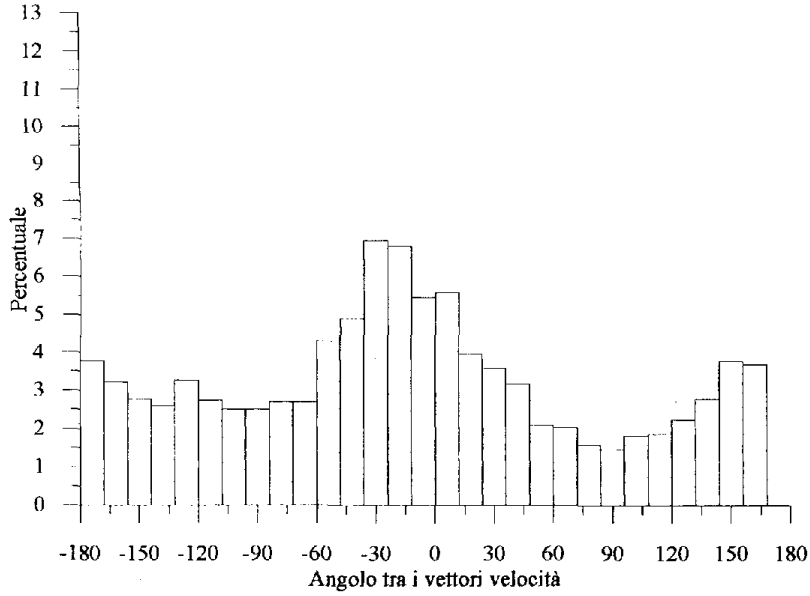


Fig. 9 - Analisi della distribuzione di frequenza dei correntometri Y1 - Y2 periodo 0794 posti a Gioia.

Correlazione dei moduli della velocità dei correntometri
della catena correntometrica punto Z SCALEA 0794

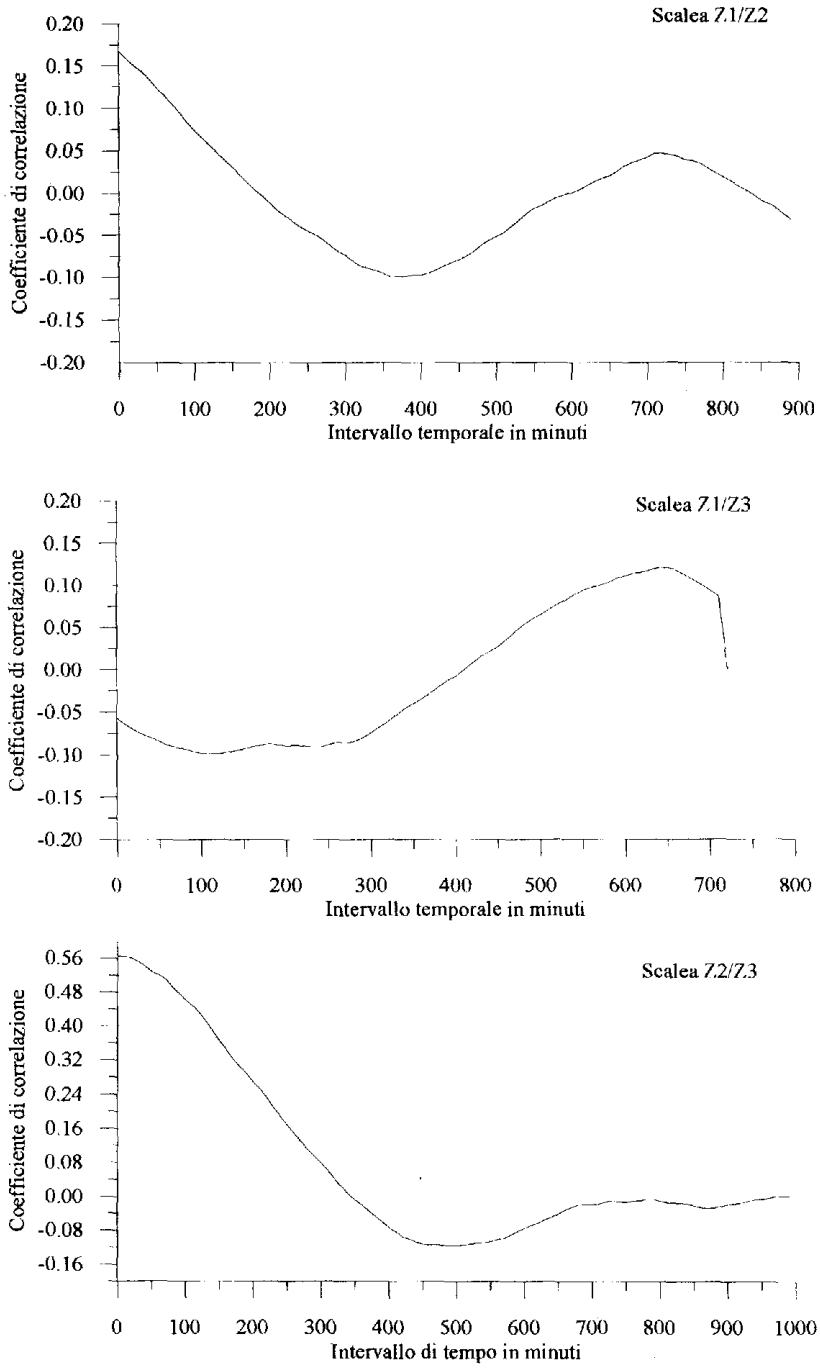


Fig. 10

Analisi della distribuzione di frequenza dei correntometri
Z1 - Z2 - Z3 posti a SCALEA

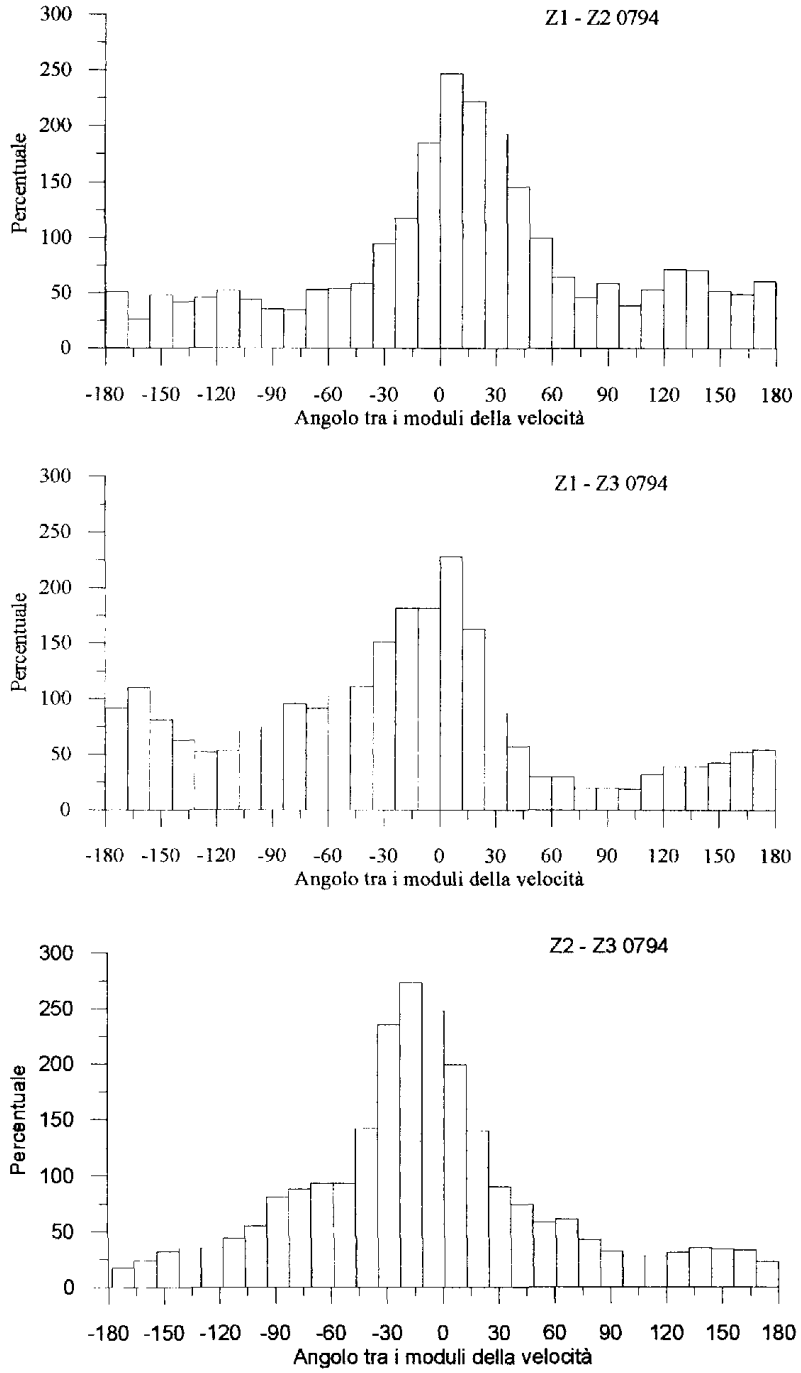


Fig. 11

diventano meno influenti mano a mano che ci si allontana dallo Stretto di Messina; in particolare le frequenze più alte (12 ore) sembrano smorzarsi maggiormente rispetto a quelle diurne, e questo effetto è maggiore per i bassi fondali rispetto a quelli alti. Nel Tirreno è presente inoltre una frequenza abbastanza netta, intorno alle 18-19 ore. Ciò va abbastanza d'accordo con i dati delle campagne sperimentali condotte dall'I.U.N. nel Golfo di Napoli tra il 1977 ed il 1981 (De Maio *et al.,* 1983), dove non sono presenti picchi attorno alle 12 ore, mentre è presente una componente, piccola ma riconoscibile, attorno alle 18 ore (De Maio *et al.,* 1985) grosso modo coincidente con il periodo inerziale dell'area in esame, che è di 17.83 ore.

L'interpretazione della presenza di energia intorno a questo periodo non è però banale, poiché i dati dello Ionio - dove pure la frequenza inerziale è sostanzialmente la stessa - non presentano il fenomeno con la stessa evidenza.

Vale la pena di ricordare a tal proposito i risultati di Speich & Mosetti (1985) che hanno condotto uno studio numerico e teorico sui periodi di oscillazione propria del Tirreno, identificandone uno di circa sei ore. Al fine di chiarire questi aspetti sarebbe utile una ripresa - con i mezzi di calcolo attualmente disponibili - di questo tipo di elaborazioni numeriche, estendendole a periodi dell'ordine di quelli qui considerati.

Non va infine dimenticata l'importanza di prendere in esame l'influenza del vento, tanto più che tutte le misure considerate sono state svolte in estate, quando l'in tensità delle brezze è rilevante e può indurre correnti di intensità superiori alla soglia dei correntometri, specialmente per quelli più superficiali e più vicini alla costa. Il regime di brezza potrebbe influenzare in particolare i periodi di 12 e 24 ore, ed è quindi necessaria un'analisi volta in particolare a separare il suo effetto da quello delle forzanti mareali.

RINGRAZIAMENTI

La maggior parte dei dati impiegati in questo lavoro derivano da attività sperimentali finanziate da vari Enti, citati nel testo, e dirette da Emilio Sansone, che gli Autori desiderano ringraziare per l'ampia collaborazione ed i preziosi consigli.

Le esperienze di Scalea e le elaborazioni numeriche di tutto il lavoro presentato sono state svolte nell'ambito dei Piani Operativi Plurifondo 1992-1993 "Sviluppo di Sistemi Avanzati per la Protezione dei Litorali e la Gestione delle Fasce Costiere" (Resp. Paolo Veltri) e "Laboratorio di Modelli e Metodi Numerici per la Meccanica dei Fluidi Ambientale" (Resp. Giuseppe Frega), finanziati congiuntamente dalla Regione Calabria e dall'Unione Europea.

BIBLIOGRAFIA

De Maio A. 1983. Dinamica delle acque del Golfo di Napoli e adiacenze: risultati ottenuti dal 1977 al 1981. *Annali dell'Istituto Universitario Navale,* Appendice 2. vol. LI.

De Maio A., Moretti M., Sansone E., Spezie G. & Vultaggio M. 1982. Dinamica delle acque del Golfo di Taranto. *P. F. Oceanografia e Fondi Marini. S. P. 4* - Piattaforma Continentale, Alto Ionio.

De Maio A., Moretti M., Sansone E., Spezie G. & Vultaggio M. 1985. Outline of Marine Currents in the Bay of Naples and Some Considerations on Pollutant Transport. *Il Nuovo Cimento,* Voi. 8C, n. 6

Moretti M., Sansone E., Spezie G. & Vultaggio M. 1980. Circolazione superficiale e profonda. *Annali dell'Istituto Universitario Navale,* Appendice 3 vol. IL- L.

Speich S. & Mesetti F. 1985. On the Eigenperiod in the Tyrrhenian Sea Oscillation. *Il Nuovo Cimento,* Vol. 11C, N. 2.

Tomasino M. & Tomasin A. 1980. Nuove conoscenze idrografiche relative allo Stretto di Messina. *IV convegno AIOL.*

Veltri P., Fiorini Morosini A., Maiolo M. & Pugliese Carratelli E. 1996a. Indagine su campo dello scarico di liquami in mare da una condotta sottomarina. *XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche,* Torino.

Veltri P., Fiorini Morosini A.JVIaiplo M. & Pugliese Carratelli E. 1996b. Analysis of Sea Current and Diffusion Data at a Submarine Sewerage Outfall. *Coastal Environement. 96,* Rio de Janeiro, Brasile.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Voi II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 263 - 272.

LA BOA ODAS ITALIA 1, UN CENTRO DI MISURA INTEGRATO IN MAR LIGURE

Antonio SICCARDI[1], Marco ORSI[2], Luca CENTURIONI[3]

[1]Istituto per l'Automazione Navale - CNR Genova
[2]Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Genova
[3]Southtampton Oceanography Centre

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to present to the scientific community a first outline of a project, open to external cooperation for the exploitation of a resource which is unique in this geographical area.

The ODAS Italia 1 buoy, positioned 36.5 nm south of Genoa, at 43 48.90' N - 009 06.80 E, on 1270 m depth, is exploited by a multidisciplinary group as an offshore site to test instruments and technologies and to monitor biological, physical, and chemical parameters in the marine environment.

1. LA BOA, SVILUPPO STORICO

1.1. Primo sviluppo

La prima strutturazione della boa fu realizzata ad opera dell'Istituto per lo Studio della Dinamica della Grandi Masse che già nel 1969 ne realizzò la prima versione e la pose in opera nelle acque antistanti La Spezia, dapprima sotto costa poi su fondale profondo.

Questo primo impiego della boa, a cura del ISDGM, terminò nel 1975 quando la stessa fu recuperata e posta in disarmo presso l'arsenale della Spezia.

A seguito dell'attivazione nel 1976 del Progetto Finalizzato "Oceanografia e Fondi Marini" del CNR fu avviata la partecipazione Italiana al progetto CEE "Cost 43" in cui si prevedeva la realizzazione di una serie di boe meteo-oceanografiche denominate ODAS (Oceanographic Data Acquisition System) da posizionare in tutti i mari europei; consequenzialmente il Progetto Finalizzato Oceanografia (PFO) finanziò alcune ricerche per la realizzazione di componenti per l'impiego su boe in vista di uno sviluppo industriale di tale settore di attività.

Nel 1978 lo stesso PFO affidava il coordinamento del progetto al Gruppo Strumentazione Navi ed assegnava la gestione della fase realizzativa all'Istituto Automazione Navale del CNR di Genova; in questo periodo, ed in vista degli scopi prima elencati,

veniva modificata la struttura della boa sistemando sulla sommità una piccola testa portastrumenti ed i sistemi di acquisizione e di trasmissione: con questa configurazione veniva posizionata nel settembre 79 a ca 27 nm a ovest di Viareggio; la trasmissione dei dati a terra veniva effettuata via radio con un contatto ogni tre ore; in ciascuno di questi contatti veniva comunicata alla stazione di elaborazione dati, la media dei valori di 5 parametri meteo misurati nei 10 minuti precedenti.

I dati pervenivano allo IAN tramite un ponte radio, e venivano elaborati realizzan do una media dei parametri acquisiti ogni 15 giorni.

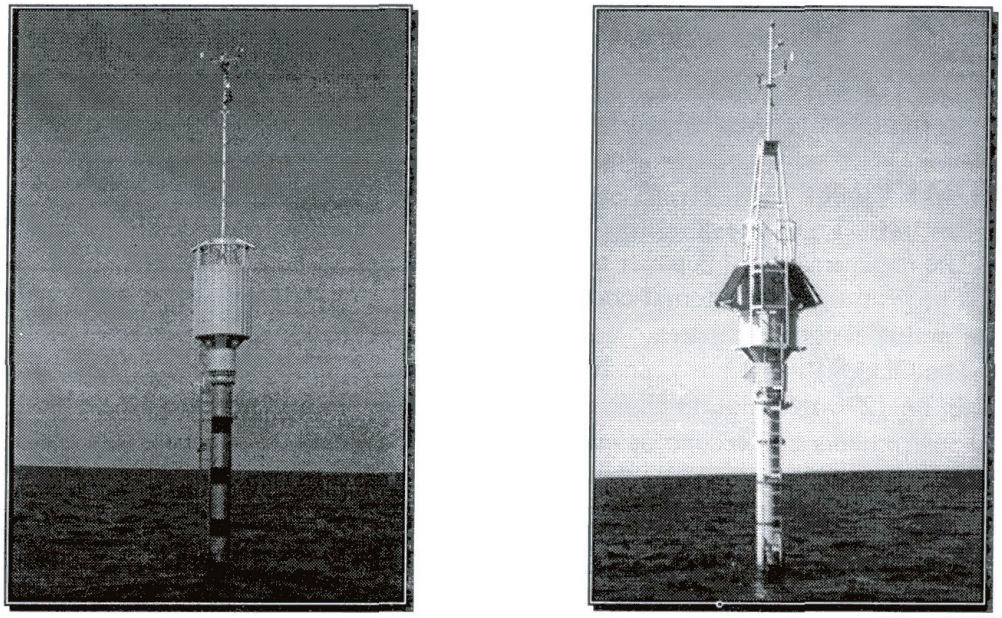


Fig. 1 - La boa nel 1990 e nel 1997

Sino al 1983 la boa restò operativa nella zona antistante Viareggio ed in questo periodo il cavo di ormeggio venne tranciato due volte, probabilmente ad opera di cavi delle reti a strascico, causando, in entrambi i casi, il rientro "automatico" della boa con la corrente verso Genova.

Con l'ausilio della nave CNR Minerva, la boa era riposizionata ambedue le volte ed in questo periodo si realizzava anche il trasferimento della stazione di terra presso lo IAN in Genova.

Nel Luglio 83 la boa era trasferita su di un fondale di ca. 1.000 m a ca. 33 nm a S-SE di Genova ove rimaneva operativa, salvo occasionali problemi tecnici, di solito le gati alla trasmissione dei dati, sino all'inizio del 1991 quando la struttura emersa veniva danneggiata da una nave in transito mai identificata; a seguito di questo incidente la boa era rimorchiata dalla N/O Bannock presso i cantieri OARN di Genova dove iniziava una profonda opera di ristrutturazione

.1.2. Situazione Attuale

Nel 1991 la boa, in precedenza assimilata ad un mezzo navale e quindi sotto la gestione dell'Armamento Navi del CNR, venne presa in carico direttamente dello LAN che ne pianificò la ristrutturazione. I programmi dello 1AN prevedevano il suo utilizzo continuato come strumento di misura per tecnologie consolidate nel settore meteo-marino ed il suo impiego per lo sviluppo ed i collaudi dal vero di metodologie e strumenti dedicati a misure ambientali in siti isolati.

Si enucleò così il concetto di "Laboratorio marino d'altura" cioè di una piattaforma in grado di porre in essere:

a) un ambiente protetto dalle offese esterne con disponibilità di armadi per strumentazione,

b) una sorgente di energia elettrica,

e) un sistema di telemetria, telecomunicazione e telecomando.

Venne scelta come posizione d'ormeggio una posizione baricentrica al centro del Mar Ligure (Fig. 2) su di un fondale di ca. 1270 m.

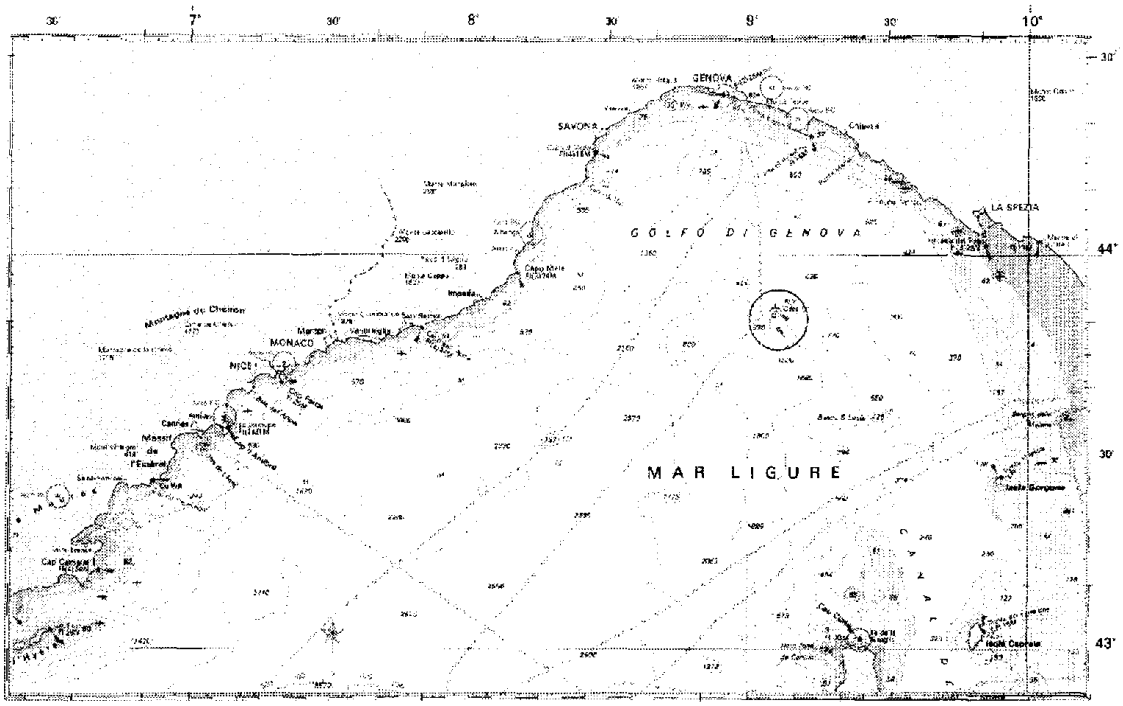


Fig. 2 - Carta nautica del Mar Ligure con indicata la posizione di ancoraggio attuale della boa

Questa posizione venne scelta per più motivi:

- la sua esposizione ai venti e alle onde provenienti sia dal Golfo del Leone che dal Mar Tirreno ne fa un punto privilegiato per monitorare le perturbazioni dirette verso le coste liguri;

- il fatto che l'area in questione era ed è comunque l'incrocio di molte delle più frequentate rotte commerciali che attraversano il Mar Ligure;
- l'ambiente del largo appariva estremamente importante come termine di confronto per gli ambienti costieri dal punto di vista ecologico in generale.

Nel frattempo si decideva di aprire tutta una serie di collaborazioni scientifiche con altri Istituti per allargare gli orizzonti del progetto, considerato appunto l'interesse sia ecologico che ambientale che l'area, baricentrica al Mar Ligure, riveste.

2. LA STRUTTURA E L'ORMEGGIO

La boa è costituita da un corpo a palo, realizzato con un tubo di acciaio Φ 600 suddiviso in 4 tronchi accoppiati tra di loro mediante flangiatura (Fig. 3).

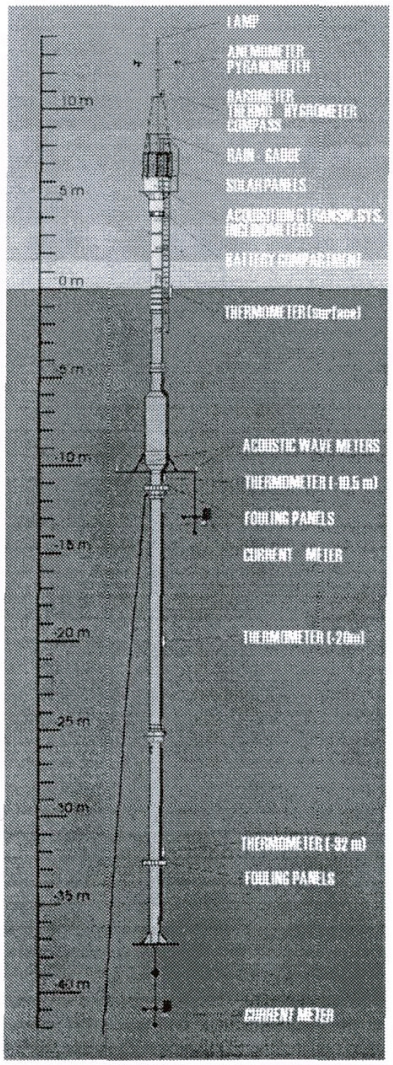


Fig. 3 - Schema della struttura della boa

I tre elementi superiori sono stagni, ed uno di essi, quello intermedio, è caratterizzato da in rigonfiamento fino a Φ 1.200 per 2 m di altezza tale da favorire il galleggiamento e migliorare la stabilità della boa stessa.

Il tronco inferiore, allagato, termina con un piatto Φ 2.000 che smorza i movimenti verticali della boa grazie alla grande mas sa d'acqua associata; al di sotto del piatto è appesa la zavorra.

Al di sopra di questa struttura, che è mantenuta sostanzialmente invariata nel tempo, è fissata la testa laboratorio.

Essa (Fig. 5) è realizzata interamente in lega di alluminio, per problemi di peso e di resistenza alla corrosione, ed è costituita da;
- un segmento di accoppiamento di diametro pari a quello del corpo inferiore, flangiato ed utilizzato come vano porta batterie;
- un vano protetto, in parte cilindrico ed in parte ottagonale di ca.

3 m^3 di volume, che all'interno può ospitare sino a 8 armadi con strumenti e che porta, fissati al suo esterno, i pannelli solari per gli approvvigionamenti energetici necessari; questo vano è ben aerato ma protetto dalla pioggia ed è dotato per precauzione di una apertura di scolo nella parte inferiore con apposite protezioni per eventuali colpi di mare;

-un traliccio superiore, con alberetto terminale, che arriva sino a 12 m sul pelo dell'acqua; esso è utilizzato come supporto per i sensori meteo, il fanale e l'antenna.

L'accesso alla testa è assicurato tramite l'utilizza di una scaletta esterna che adduce alla parte superiore del vano protetto, da qui vi si può accede tramite un portello a passo d'uomo che permette di scendere nella zona adibita a laboratorio.

All'esterno del vano protetto uno stretto terrazzino circolare, posto alla base dello stesso, permette le manutenzioni dei pannelli solari.

La linea di ormeggio (Fig. 4) è agganciata alla boa alla profondità di 15 m ed è costituita da più elementi qui di seguito descritti:

* 30 m di cavo in acciaio inox Φ 15 mm, per evitare problemi di logorio sia meccanico, da strofinio contro il corpo boa, sia elettrolitico;
* 400 m di cavo di nylon Φ35 mm appesantito da uno spezzone di catena;
* 850 m di cavo di polipropilene Φ 40 mm;
* gruppo di boe di spinta;
* 600 m di cavo di polipropilene Φ 40 mm;
* catenella catena ed ancora.

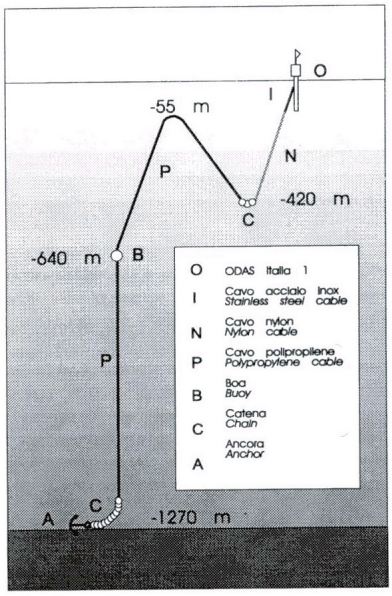


Fig. 4 - Configurazione dell'ormeggio della boa

La prima parte dell'ormeggio, costituita da cavo pesante (acciaio e nylon) è seguito da cavo galleggiante (polipropilene), sino alle boe di spinta, costituisce una lunga esse tra le profondità di 50 e 650 m, con funzione di ormeggio elastico; la parte inferiore, tra i 650 m ed il fondo, viene sorretta dalle boe ed è così mantenuta in posizione qua si verticale per poter ospitare strumentazione da mantenere in sito per lunghi periodi.

La composizione della parte terminale (ancora, catena pesante e catenella leggera) fa sì che il cavo tenga la catenella sollevata e non strofini mai sul fondo, permettendo alla boa di ruotare continuamente attorno all'ancora senza danni per l'ormeggio.

Un ormeggio così strutturato, 1.900 m di lunghezza ovvero ca. 1.5 volte la profondità del sito di ormeggio, consente alla boa di muoversi in un raggio di ca. 0.5 nm attorno all'ancora e di evitare che, sotto l'azione di forti spinte trasversali, la essa stessa tenda ad immergersi significativamente.

3. LA DOTAZIONE STRUMENTALE (Fig. 5)

3.1. Sensori meteo.

Alla quota di 10 m s.l.m. sono montati il solarimetro e la crocetta con i due sensori per direzione e velocità del vento. Circa 1 m più sotto sono fissati barometro, igrometro e termometro, insieme alla bussola.

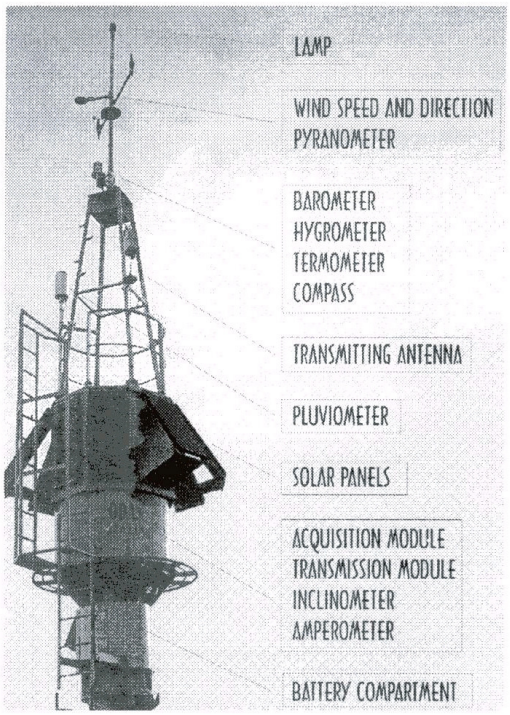


Fig. 5 - Dettaglio della testa della boa con indicazione delle strumentazione disponibili.

Accanto al traliccio è solidamente fissato, montato su di un suo alberello, il pluviometro, ancora in fase sperimentale

3.2. Sensori oceanografici

4 sensori di temperatura sono posizionati lungo il corpo boa, uno in superficie, gli altri alle profondità di 10, 20 e 35 m. D termometro di superficie è alloggiato, con l'elemento sensibile 10 cm al disotto del livello O teorico, all'interno di un tubo forato che agisce da filtro rispetto al moto ondoso; gli altri termometri sono protetti da eventuali urti o dall'intrusione di lenze, ami, ecc..

Alla profondità di 10 m sono montati, su tre supporti a 120°, tre altimetri acustici rovesciati, che misurano la distanza dalla superficie sovrastante e, contemporaneamente, la pressione idrostatica. Questi dati, tenendo conio della risposta al mare della boa stessa e dei moli del corpo boa, misurali da altri sensori, sono utilizzati per la ricostruzione del moto ondoso.

Alle quote di 11 e 42 m sono installali due correntometri elettromeccanici: quello a 11 m è sospeso ad uno dei bracci orizzontali che sostengono gli altimetri, in posizione laterale rispetto all'attacco dell'ormeggio, in zona di flusso non disturbato dal corpo boa, mentre quello inferiore è sospeso, in posizione centrale, al di sotto della zavorra.

3.3. Sensori di servizio

Una coppia di inclinometri, montali sul piano orizzontale della boa a 90° tra loro, è utilizzata per misurare rollio e beccheggio, oltre che l'eventuale scostamento dalla verticale dovuto al tiro dell'ormeggio e all'azione di vento e corrente.

La direzione di riferimento è quella indicala dal punto di aggancio dell'ormeggio, definita "prua" della boa. A questa direzione, ed al piano verticale da essa individuato, sono riferiti l'inclinometro, indicante il beccheggio, la bussola di bordo e l'indicatore di direzione del vento; i dati provenienti dai sensori di assetto e orientamento sopraindicati sono utilizzati per correggere gli altri dati raccolti in funzione dei moli della piattaforma.

Lo stato del sistema di alimentazione è fornito da un sensore di tensione, che indi ca lo stato di carica delle batterie, e da due gruppi di sensori, che misurano l'uno soltanto la corrente utilizzala per la ricarica ed il mantenimento delle batterie, l'altro la corrente totale generala dai pannelli solari, consentendo così di valutare il bilancio energetico sulla boa e le risorse ancora disponibili.

3.4. Alimentazione

L'energia al sistema è fornita da 8 pannelli solari da 60 Watt l'uno, disposti circolarmente attorno alla testa della boa, che ricaricano le batterie, da 100 Ah. Nonostante la potenza nominale totale sia di 480 Watt quella effettivamente disponibile è molto inferiore; nella stagione invernale, ad esempio, con sole basso sull'orizzonte, viste le caratteristiche geometriche del sistema, si ha solo un pannello illuminalo in pieno, con i due adiacenti a 45°, mentre lutti gli altri ricevono solo luce diffusa. Nonostante le limitazioni indicate la potenza disponibile si è però dimostrala, ad oggi, sempre più che sufficiente.

3.5. Spazio biologico

Due gabbie circolari, che abbracciano il corpo boa, sono state posizionate ad 11 e 35 m di profondità: ognuna è dotata di 12 alloggiamenti per pannelli rettangolari di dimensioni 20 x 30 x 5 cm per consentire lo studio dell'insediamento ed accrescimento di biomassa in condizioni protette.
L'installazione è chiaramente identificabile come esperimento scientifico e quindi non è mai stata fatta oggetto di indesiderate incursioni di pescatori subacquei.

3.6. Sistema di acquisizione e trasmissione dati

II sistema di acquisizione è basato su di un calcolatore single chip, che periodicamente attiva ed interroga i vari sensori, comunicando con le loro diverse schede elettroniche tramite una sola linea seriale RS232 utilizzata in multidrop. Alcuni sensori sono attivati solo ogni ora per alcuni minuti, altri sono sorvegliati con continuità; ogni ora i dati raccolti sono memorizzati temporaneamente, processati localmente e quindi trasmessi alla stazione di terra presso lo IAN. Esiste un archivio dati locale, su scheda di memoria rimovibile, che, in caso di malfunzionamento delle comunicazioni, è in grado di immagazzinare più di due mesi di informazioni: i dati immagazzinati vengono automaticamente cancellati in caso di trasmissione riuscita e confermata da terra.

Le comunicazioni utilizzano un telefono cellulare, collegato al sistema di acquisizione da un'interfaccia dedicata ed un modem a basso consumo. L'apparecchiatura è stata installata in versione modificata, tale da non consentirne l'impiego come normale telefono, onde evitare la possibilità di abusi; questo tipo di collegamento consente di evitare i costi di installazione e gestione di ponti radio a terra in VHF e si è dimostrato affidabile, a parte occasionali problemi dovuti all'intasamento estivo delle linee. Il baud rate massimo utilizzabile è limitato a 1200 bps e consente di scaricare un pacchetto dati in meno di un minuto.

Il collegamento via cellulare è bidirezionale, e consente, oltre allo scarico dei dati, la ricezione di comandi per l'aggiornamento del software o la modifica di parametri di acquisizione, oltre ad applicazioni diverse dal solo scambio dati.

3.7. Comunicazioni in voce

II sistema, che resta acceso in ricezione nei primi 15 minuti di ogni ora, sarà in grado, a partire dall'inizio 1998, di rispondere automaticamente alle chiamate telefoni che al numero 0336-513503, diffondendo un messaggio in voce, che fornisce, senza altri costi che non la telefonata stessa, le informazioni di maggior interesse per la navigazione, ricavate dai dati raccolti nelle ore immediatamente precedenti.

4. DATI RACCOLTI

A seguire e a titolo di esempio delle potenzialità del sistema viene prodotto un campione dei dati collezionati dai sistemi di acquisizione operanti sulla boa durante il periodo aprile - agosto 1995 (Fig. 6)

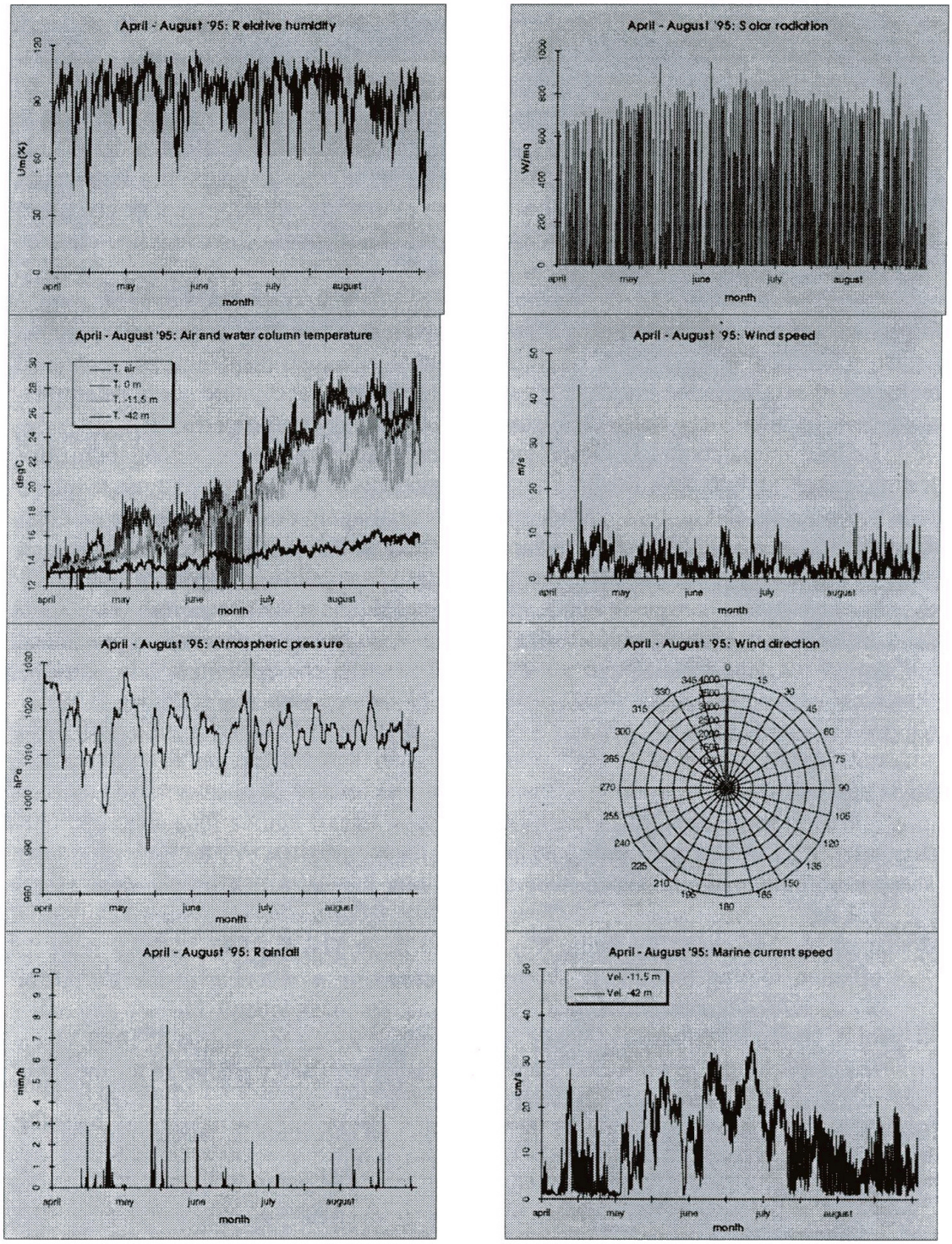


Fig. 6 - Esempio di dati raccolti.

5. PROSPETTIVE

Il progetto ODAS Italia 1 "Laboratorio marino d'altura" rappresenta un cambiamento netto rispetto al tipo di utilizzo fatto in passato di questa risorsa strumentale, che era stata impiegata in maniera occasionale nell'ambito di progetti di ricerca specifici; le prospettive scientifiche in cui ci si muove oggi, particolarmente nell'ottica del Global Change, richiedono da parte della comunità scientifica la raccolta continua e sistematica di informazioni sull'ambiente, per la costituzione di una base di informazione che possa aiutare nella valutazione delle tendenze evolutive, sia dal punto di vista fisico-chimico che biologico, o comunque ecologico in senso lato.

Il gruppo di lavoro, che si è costituito intorno alla boa, con lo IAN in particolare, è impegnato nel mantenimento operativo ed aggiornamento continuo di questa importante risorsa scientifica; le capacità di raccolta dati attuali verranno mantenute nel tempo ed inoltre su di essa verranno installate e testate, a breve, apparecchiature per la determinazione delle caratteristiche fisico chimiche delle acque negli strati superficiali.

La boa, intesa come laboratorio tecnologico, è aperta a progetti di collaborazione scientifica nell'ambito delle finalità con cui è concepita; in particolare l'attuale sviluppo della modellistica dell'ambiente Mediterraneo, sia dal punto di vista fisico che ecologico, richiederà l'utilizzo di punti di misura anche nell'ambiente del largo, per cui sistemi come la ODAS I 1 si riveleranno preziosi; inoltre gli attuali orientamenti a livello nazionale, che rilevano la necessità della realizzazione di una rete di sensori in mare aperto, da utilizzarsi nel settore modellistica meteorologica, per la conoscenza e previsione dell'evoluzione delle condizioni meteomarine ed atmosferiche, sottolineano la necessità di mantenimento operativo di questa risorsa e della sua eventuale duplicazione.

BILIOGRAFIA

Montanari M., Moschella P., Relini M., & Siccardi A. 1996. ODAS Italia 1: studio del macrofouling su una boa oceanografica in Mar Ligure. Atti *XII Congresso AIOL,* vol. 1.

Montanari M., Moschella P., Relini M., Siccardi A. & Tixi F. 1995. "ODAS Italia 1: offshore fouling monitoring System. *Workshop on monitoring in the European Western Mediterranean.* WOMO '95, Murcia, Spain, October 9-11.

Siccardi A., Bono R., Grosso F., Amore R., Mantovani R. & Mistrangelo A. 1996. Open sea monitoring: ODAS Italia 1, an operational System and a challenge for the future. *Ocenaology International* '96*,* Brighton, UK.

Siccardi A., Montanari M. & Relini M. 1994. Boa ODAS Italia 1: laboratorio marino d'altura in Mar Ligure. *Biol. Mar. Medit.,* 1: 105-112.

Atti dal 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 273 - 284.

FISH COMMUNITY STRUCTURE AND THE COMPLEXITY OF SUBSTRATUM: THE CASE OF «LE GHIAIE» PROTECTED MARINE AREA (ISLAND OF ELBA)

Franco BIAGI[1], Silvia GAMBACCINI[2], Massimo ZAZZETTA[2]

[1] Dipartimento di Scienze dell'Uomo e dell'Ambiente, University of Pisa, Italy.
[2] Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata, Livorno, Italy.

RIASSUNTO

Nell'estate del '95 è stato condotto uno studio preliminare per descrivere il popolamento ittico dei fondali intorno allo Scoglietto, un isolotto compreso nella zona di tutela biologica denominata «Le Ghiaie», unica area protetta dell'Isola d'Elba. I rilevamenti sono stati condotti per mezzo di valutazioni visive subacquee, utilizzando il metodo del punto fisso. Il popolamento è caratterizzato, in termini di ricchezza specifica, da Labridi e Sparidi, mentre i Pomacentridi, con l'unica specie *Chromis chromis,* sono la famiglia con l'abbondanza media per rilevamento più elevata. La ricchezza specifica varia tra i diversi versanti dello Scoglietto e sono state osservate in totale 46 specie. La distribuzione delle specie e la loro abbondanza variano in funzione dell'eterogeneità del substrato e della profondità. Inoltre le specie *Gobius luteus* e *Sermnus hepatus* sono distribuite asimmetricamente rispetto allo Scoglietto: la prima è stata osservata solo su una franata rocciosa orientale, a profondità maggiore di 10 m, mentre la seconda è stata rinvenuta solo su fondale detritico dell'altro versante dell'isolotto. Sono stati osservati inoltre esemplari adulti e reclute di due specie termofile: *Thalassoma pavo* e *Sphyraena sphyraena.*

ABSTRACT

A preliminary study to describe fish assemblages around an islet called «Scoglietto» inside «Le Ghiaie» marine reserve, was carried out during the summer of 1995. The study area is the only protected marine area of Elba Island. Data were collected by visual census, using the stationary points method. The sea bottom is strongly heterogeneous, showing, at depths between 0 and 25 meters, three types of substratum: rock, *Posidonia oceanica* and organogenic detritus. The fish community was characterised by *Labridae* and *Sparidae* in terms of species richness, and by *C. chromis (Pomacentridae)* in terms of mean abundance per sample of individuals. Overall species richness was represented by 46 species, a value that changes among different sides of the islet. Species distribution as well as abundance changed according to substratum heterogeneity and to the depth. So species richness and mean abundance

per sample were higher in shallow rocky areas than in deep rocky or detritus substrata. Some species such as *C. chromis, Boops boops, Coris julis, Diplodus spp.* and *Symphodus spp.* were widely distributed over the whole study area, but with different mean abundance and frequency of occurrence. Other species showed a preference for a particular kind of substratum or bathymetric range: *Atherina spp., Mugilidae* and *Symphodus roissali* were observed only on shallow rocks; *Diplodus vulgaris, D. sargus, G. luteus* and *Epinephelus marginatus* preferred deeper waters; *Mullus surmuletus, B. boops, Spicara maena* and *S. hepatus* were common on detritus. G. *luteus* and *S. hepatus* were unevenly distributed around the islet: the former was recorded only in a deep rocky area of the eastern side of the islet, dose to the bottom and to crevices, while the latter was observed only on detritus on the opposite side of the islet. *T. pavo* and *S. sphyraena,* two thermopile species, were recorded as recruits as well as adults.

1. INTRODUCTION

The knowledge of the structure of coastal fish assemblages is particularly important, especially within the wider context of integrated management of coastal areas. Realising an adequate network of protected areas over the whole Mediterranean basin is a prerequisite for such aims. Adopting regulations for the protection of a marine area has various effects on fishes, only some of which are actually known. An increase in specific richness, an increase in fishes mean size and in the abundance of valuable species and, in other cases, a reduction of the intensity of recruitment of some species, were observed in protected areas (Bell, 1983; Garcia-Rubies & Zabala, 1990; Dufour *et al.,* 1995; Harmelin *et al.,* 1995). Underwater visual census is the most suitable method for studying fishes in protected areas because it is nondestructive and because it allows assessing the qualitative and quantitative composition of an assemblage and its temporal dynamic. Visual census methods were developed mainly in tropical environments; in the Mediterranean the most important contributions have been made by Harmelin-Vivien (1983), and Francour (1991 and 1994), who described the spatial and trophic structure of fish populations on *P. oceanica* both in protected and unprotected areas, and Harmelin (1987 and 1990), Garcia-Rubies & Zabala (1990) and Dufour *et al.* (1995) for their study of fish fauna on rocky areas. In Italy the studies in this field have been fragmentary. Some of them have been aimed at natural fish communities (Tunesi & Vacchi, 1993; Biagi *et al.,* 1996b; Marconato *et al.,* 1996; Zazzetta, 1996), others at monitoring the colonisation of artificial reefs (Relini & Torchia, 1993).

2. MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in summer of 1995 in a protected marine area called «Le Ghiaie» (Fig. 1), which extends from Punta del Capo Bianco (42°49'44" N, 10°19'01" E) to Punta Falcone (42°49'44" N, 10°20'01" E) and includes a small island, «Scoglietto» around which the censuses were performed. This reserve, created in November 1971, is the only protected area of Elba island. Thanks to the nature of the sea bottom and to the absence of important perturbing factors of anthropic origin, «Le

Ghiaie» is an area where reproduction and recruitment of many fish species occur (Biagi *et al.,* 1996a).

2.1. Pre-survey

Carrying out a pre-survey is extremely important when using underwater visual census methods. The knowledge of the nature and topography of the bottom in the study area and of the presence of particular local phenomena (currents, visibility, etc.), together with a first evaluation of the fish fauna in terms of the species present and their reactions to the divers (Zazzetta, 1996), enables the researcher to design the most appropriate census strategy.

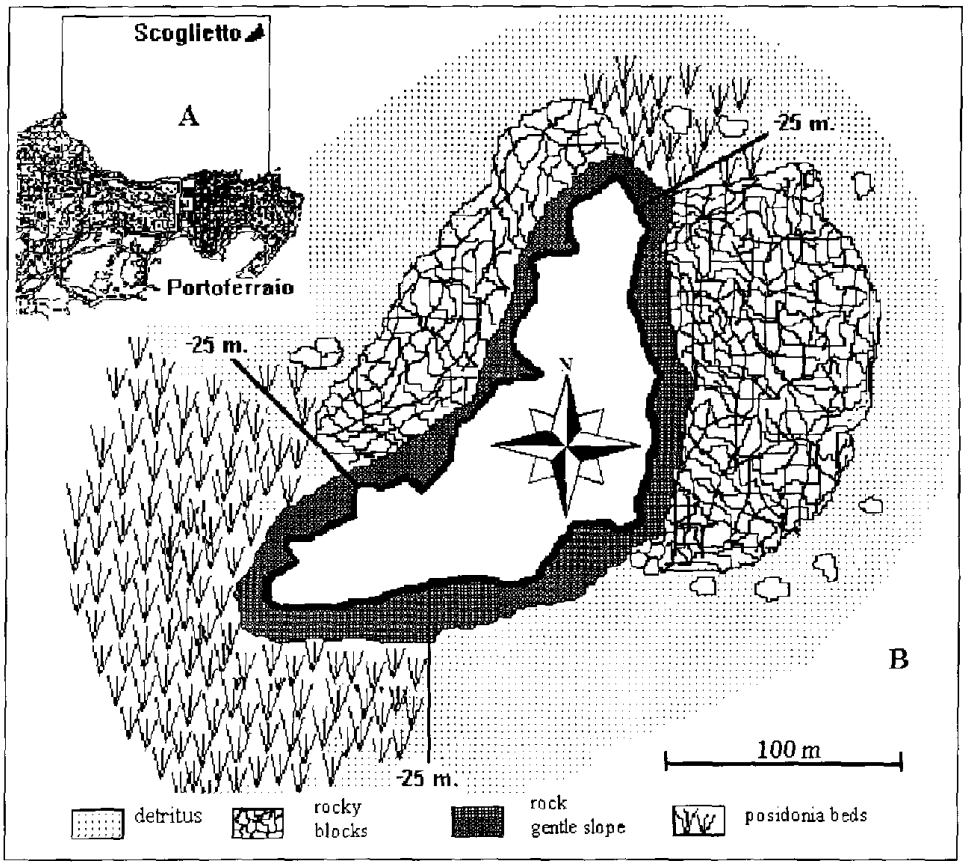
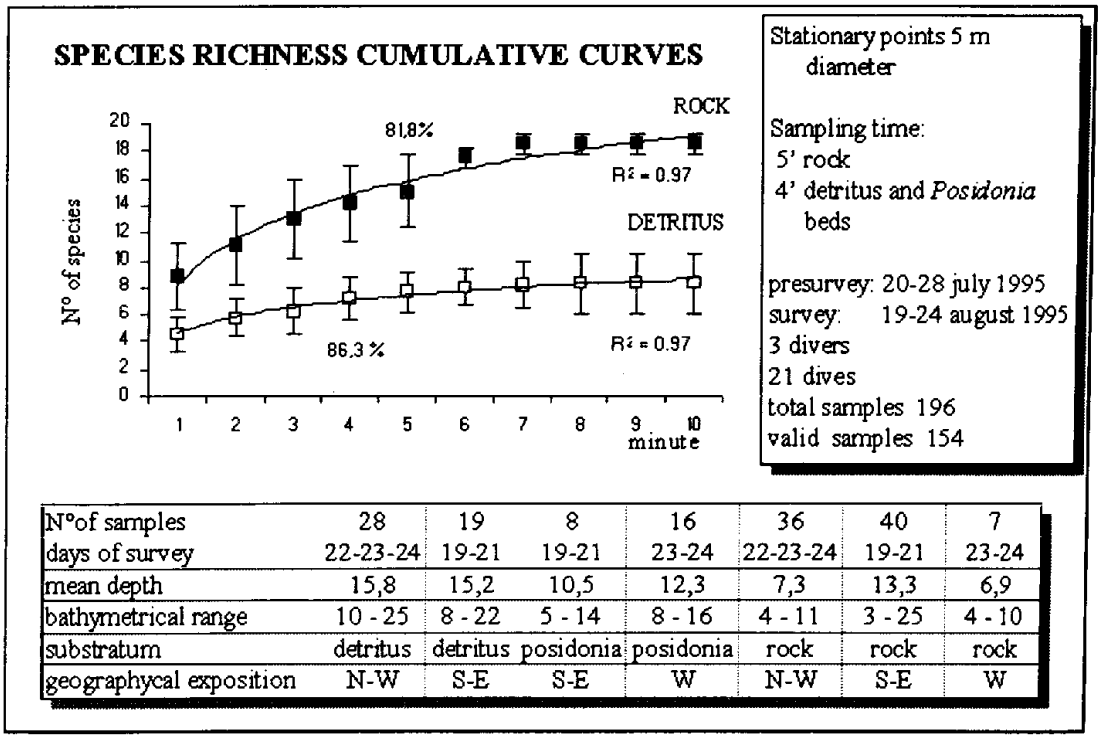


Fig. 1 - A) Le Ghiaie protected marine area (Portoferraio - Elba Island). B) Schematic characterisation of the substratum around Scoglietto.

During the pre-survey a preliminary characterisation of the bottom was made (Fig. 1). Because of the high environmental heterogeneity, the stationary points method was preferred over the strip transect, although modified by the Authors with respect to the method described by Bohnsack & Bannerot (1986). Despite the good visibility, a census area 5 m in diameter and 3 m high was adopted. A larger diameter would have

introduced methodological errors due to the presence of different environments dose together and to the slope, often quite steep, of the bottom. An estimate of the optimum time span of the census was made by means of species richness cumulative curves. In this study (Fig. 2), the time required to observe at least 80% of the species detectable in 10 minutes was taken as minimum census time: this proved to be 5 minutes on rock and 4' on detritus and *P. oceanica.*



N°of samples	28	19	8	16	36	40	7
days of survey	22-23-24	19-21	19-21	23-24	22-23-24	19-21	23-24
mean depth	15,8	15,2	10,5	12,3	7,3	13,3	6,9
bathymetrical range	10 - 25	8 - 22	5 - 14	8 - 16	4 - 11	3 - 25	4 - 10
substratum	detritus	detritus	posidonia	posidonia	rock	rock	rock
geographycal exposition	N-W	S-E	S-E	W	N-W	S-E	W

Fig. 2 - Species richness cumulative curves graph and chart summarising the survey and pre-survey phases.

2.2 Survey

The censuses were performed from August 19 to 24 (Fig. 2), in the middle hours of the day, always in condition of calm sea, fair sky and good visibility. Each operator carried out on average of 10 censuses per dive, recording data (species abundance and size of individuals) on a PVC slate. Only 154 out of 196 censuses were considered representative of the studied populations; samples deleted were recorded with reduced visibility, or in areas with coopresence of different habitats.

2.3. Data analysis

The data matrix was used to calculate the following univariate ecological indices:

- Margalef's specific richness index $d = (S - 1) / \log N$
- Shannon-Wiener's diversity index $H' = - \sum_i p_i (\log p_i)$
- Pielou's evenness index $J' = H' / H'_{max}$

A hierarchical agglomerative cluster analysis was performed using the complete

linkage method. The presence of differences among groups of clusters was verified using Spearman rank correlation test on the mean abundance data of the assessed species in each cluster. The matrix used for the cluster analysis was obtained from the original species sample by averaging the replicas, where present, and excluding the samples carried out on *P. oceanica,* which was not a true seagrass meadow but, growing on rock, hosted a mixed population. The data for cryptic and nonresident species, whose presence in the area was considered exceptional, were also deleted. In order to reduce the excessive importance of species with a schooling behaviour, the transformation $Ln(x+1)$ was applied to the abundance data. Similarity between samples was estimated with the Bray-Curtis index. To characterise the composition by species of the three main groups discriminated by cluster analysis, the species present were ranked according to the following index of importance: $(2a+b)/3$, where a and b are respectively the ranks of the frequency of occurrence and of the abundance of the *i-th.* species (Biagi *et al.,* 1989).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characterisation of the study area

The bottom surrounding Scoglietto is divisible into three sectors, each one with different kind of substrata (Fig. 1). These sectors face southeast, northwest and west. For the entire circumference of the islet, the reef rests on a rocky shoal with a limited slope that extends to an average depth of 3-5 m. Beyond this bathymetric threshold the bottom descends more or less sharply, diversifying into three main environments (*P. oceanica,* detritus, rocky blocks) to an average depth of 25 m, beyond which a uniform sandy expanse extends. To the southeast, the detritus sector, which departs from a rocky platform, gives way to a large rockslide to the cast; the numerous hollows between the rocky blocks host a rich, diversified fish fauna. After a small, structurally heterogeneous transitional area, on the northwest side a shallower belt (within a depth of 10 m) with rocky blocks and a second, deeper, detrital one, are encountered. To the west the rocky substratum is covered, more or less homogeneously, by a broad expanse of *P. oceanica,* except for some, isolated, large rocky blocks that rise up among the seagrass bed.

3.2. Population structure

The studied fish population proved to be quite rich and diversified. A total of 46 species belonging to 15 families were observed, of which only 38 (Table 1) were considered for cluster analysis. Excluded species were *Conger conger, Lypophris nigriceps, Parablennius gattoruggine, Scorpaena notata, Scorpaena scrofa* and *Trypterigion spp.* for their cryptic behaviour and the difficulty of identifying them, and *Spicara smaris* and *Seriola dumerilii* for their low abundance and frequency. In addition, *Muraena helena, S. sphyraena, Bothus podas* and *Lepadogaster sp.* were observed only during the pre-survey phase. The overall specific richness is distributed differently in the various habitat and/or sectors (Fig. 3), and it is similar to those recorded in other Mediterranean protected areas (Bell, 1983; Harmelin, 1987; Garcia-Rubies & Zabala, 1990). The largest number of species was observed on rocky areas: 36 species in the NW sector, 31 in the SE sector, for a total specific richness of 43 species

(13 families). On detritus, intermediate values were recorded, with 27 species (23 for each sector) and 9 families. Lastly, on *Posidonia,* the lowest values were recorded, with 22 species and 7 families. G. *luteus* and *S. hepatus* do not appear in both sectors: the first is present exclusively on the rocky bottom to the east, the second only on the detritus on the northwest side. The risk of undetecting individuals of the two species was eliminated or considerably reduced by the fact that an analogous number of censuses was performed in both sectors and on both types of substratum (Fig. 2).

During the study numerous recently settled recruits of G. *luteus* were observed, grouped in small schools keeping dose to the rocky bottom, near holes and crevices, and sheltered in the shadow of the rocks. The recruits were observed at a depth of 10 to 20 meters (Biagi *et al.,* 1996a and 1996b). At shallower depths, however not less than 10 m, only rare and isolated adult individuals were observed. This could be the reason for the asymmetrical distribution of G. *luteus:* the rocky bottom of the northwest sector, despite its similar structural characteristics lo the southeast sector, does not extend beyond a depth of 11 meters (Fig. 2). Harmelin (1987) also observed an irregular distribution of G. *luteus,* both on a limited and broad geographic scale.

The geographical distribution of some Mediterranean fish species is limited. Thus, the studied population does not include, for example, *Diplodus cervinus,* a thermophile species present in the southern Italian seas, in Spanish waters (Garcia-Rubies & Zabala, 1990), and also reported in French waters at latitudes equivalent to those of Elba (Bell, 1983; Dufour *et al.,* 1995; Harmelin, 1987, 1990; Harmelin *et al,* 1995). Two thermophile species, *T. pavo* and *S. sphyraena,* were observed. The second one appears only in a single station in Medas Islands (Garcia-Rubies & Zabala, 1990). Both of these species recruit on shallow bottoms in Elba Island (Biagi *et al.,* 1996a). *T. pavo* recruits in late summer and early autumn, and the Authors observed numerous specimens in this period both at Elba and in the Meloria banks off Livorno. However, in May 1996, at Elba, some recruits 25-30 mm long were observed, and this poses a number of questions on the duration and modes of reproduction deemed valid for this species until now. Fish assemblage, both overall and in the three environments studied, is characterised in qualitative terms by Sparidae (11 species) and Labridae (13 species), which are the ones found most frequently (Fig. 3). Overall, *Coris julis* is the most frequent species (f = 0.97), always present on detritus bottoms (f = 1.00) and on the rocky bottom to the southeast. In the other rocky sector and on *Posidonia* the blue damsel fish *(Chromis chromis)* has the highest frequency of occurrence (1.00 and 0.97, respectively). *C. chromis* structures the fish assemblage in quantitative terms: the mean abundance per sample of the blue damsel fish is 50.8, corresponding to 47.7% of the total number of fish observed per sample. This species is the most numerous on rocky substratum and on *Posidonia,* while on detritus it is the most abundant after *C. julis* in the northwest sector and after *B. boops* in the southeast sector. Besides *C. chromis* and *C. julis, Diplodus vulgaris, Sarpa salpa* and *Symphodus spp.* are other common and ubiquitous species, with different abundance from one environment to another. The studied community is thus characterised qualitatively by Labridae and Sparidae and quantitatively by *C. chromis* (Fig. 3), reflecting the typical structure of the fish communities of the upper infralittoral of the Mediterranean, both in protected and unprotected areas. Sparidae and Labridae are also the dominant species, in terms of

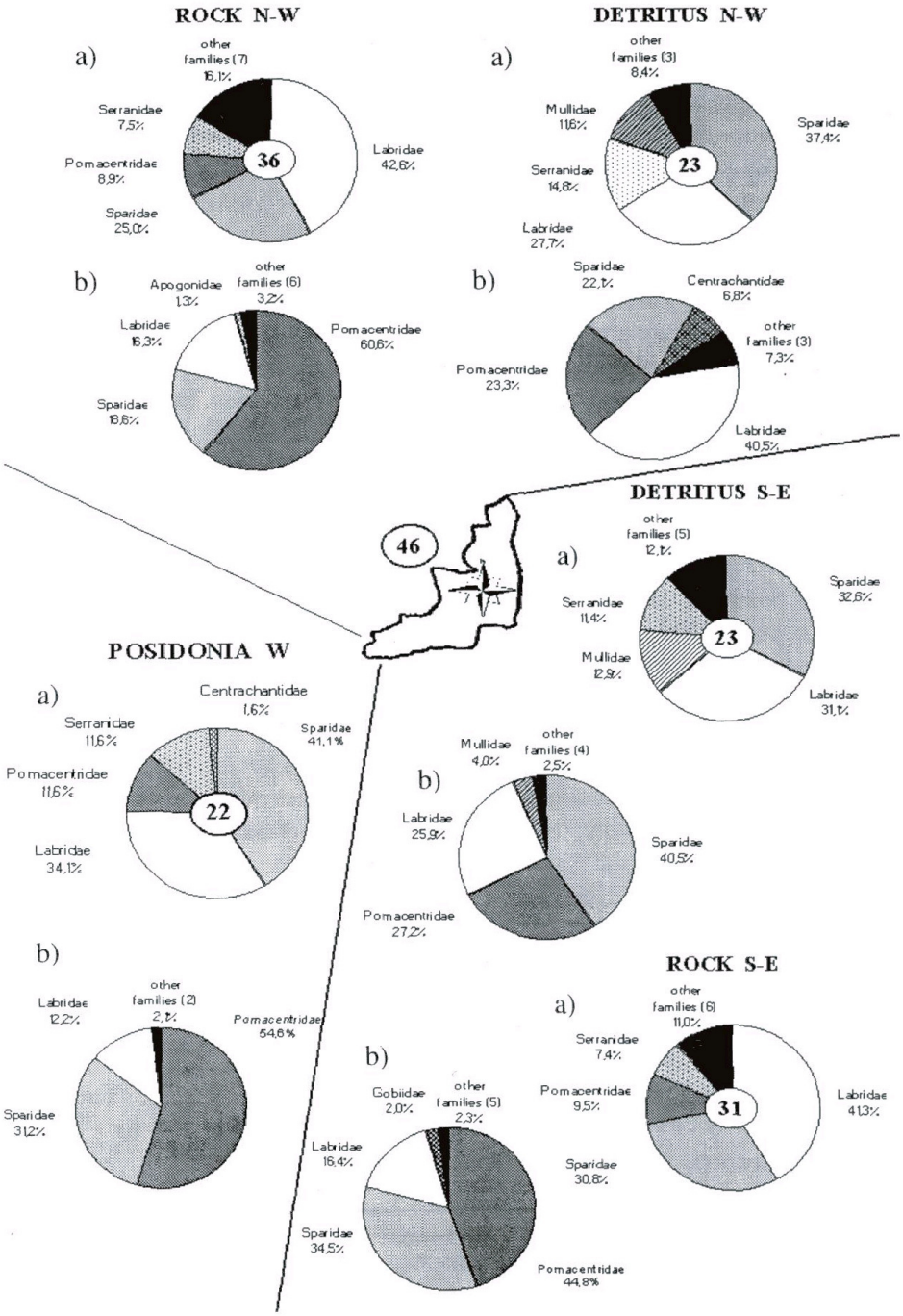


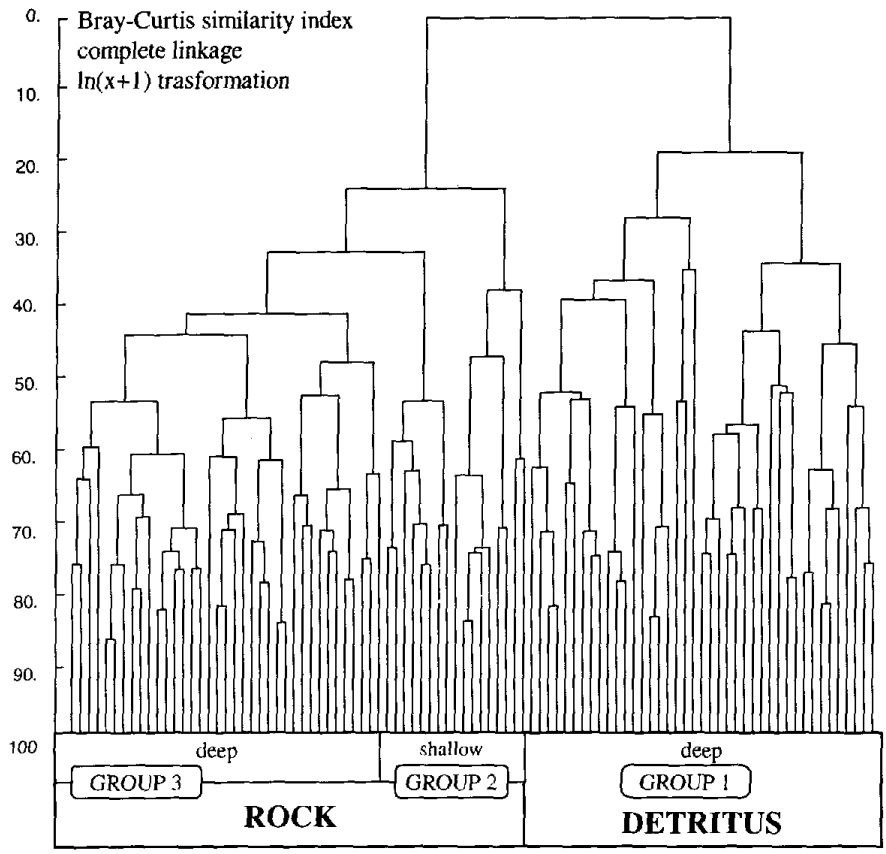
Fig. 3 - Frequency of occurrence per family (a) and mean abundance per sample (b) in the different sectors and habitat around the islet. The number in the centre of each frequency chart indicates the overall specific richness.

specific richness, in the waters of Portofino (Tunesi & Vacchi, 1993), on the French coast at a depth of around 10 meters (Bell, 1983; Harmelin *et al.,* 1995), in the marine park of Port-Cros (Harmelin, 1987), in the Medas Islands (Garcia-Rubies & Zabala, 1990) and along the Elba littoral shallow waters (Zazzetta, 1996). In the Corsican reserve of Scandola, according to Francour (1991), Sparidae constitutes the dominant family on shallow rocky bottoms, while Labridae are dominant in *Posidonia* beds, in agreement with measurements at Marseilles (Bell & Harmelin-Vivien, 1982) and Port-Cros (Harmelin-Vivien, 1982). The number of species for the two families (13 for Labridae and 11 for Sparidae) is similar to indications given by other Authors, who report values ranging between 9 and 13 for Labridae and 8 and 11 for Sparidae.

In the Mediterranean fish assemblages there is usually one species that is far more abundant than the others; this dominance may be influenced by substratum and by other factors that vary with depth. It is always a small, gregarious species like *C. chromis* (Harmelin, 1987and 1990; Tunesi & Vacchi, 1993; this paper), *B. boops* (Garcia-Rubies & Zabala, 1990) and, limited to the shallowest bottoms, *Atherina spp.* (Zazzetta, 1996). From literature a common structure of Mediterranean coastal fish fauna seems to exist. One or more gregarious, microphagous species that occupy the water column a few meters from the bottom have a higher number of individuate, whereas the necto-benthic species more closely linked to the bottom, chiefly mesophages (Labridae and Sparidae), prevail in terms of specific richness. In all the populations, large macrophages are less frequent and abundant due to their much more vagile behaviour and to their position in the trophic pyramid. Infact this structure is in agreement with the general structure of an ecosystem: where abundance decrease from lower to higher levels along the trophic webs. Despite this is a preliminary study, the Scoglietto fish assemblage seems to display higher levels of density of individuals, for most species, than other protected areas of the Mediterranean. For example, the mean density of individuals per square meter of the blue damsel fish is 2.5 at Scoglietto against 0.8 for the Medas Islands, 0.1 for Banyuls and 1.2 for Port-Cros. However, it must be pointed out that the nature of these differences probably does not depend on real differences in the studied populations, but they can only be apparent. In particular, this could be due to differences in visual census sampling methods, as example stationary points *vs.* strip transects. Hence, direct quantitative comparisons between populations should only be made where the same sampling methods was used.

Cluster analysis showed the existence of groupings among the samples (Fig. 4). At 100% dissimilarity, two large groups separate in the dendrogram: the first group includes all the samples carried on detritus and characterised by a depth of over 10 m the second includes those in rocky bottoms. At 20% similarity two sub-groups are distinguished on detritus, due to the different abundance of *C. chromis* and *B. boops* in the samples. This difference is not markedly discriminating and indeed Spearman's correlation test shows a highly significant correlation between the abundance ranks of the species present in the two subgroups (r_s=0.77 P<0,001); the grouping of samples on detritus was therefore assumed as homogeneous. At 25% similarity the samples recorded on rock clusterise in two different groups as a function of depth, greater or less than 10 m. The results do not display marked differences for the same habitat on one side of the islet and the other, despite the asymmetrical distribution of some species.

Species distribution on rocky bottoms follows a bathymetric gradient. *Atherina spp., Mugilidae* and *S. roissali* were observed only on shallow bottoms, while most of the species are distributed over the whole bathymetric interval studied, although favouring the shallower belt or the deeper one, depending on the case.



Groups of samples	No. of species	Mean no. of species per sample	Mean abundance per sample	Margalef's index *d*	Shannon's index *H'*	Pielou's index *J'*
Whole cluster	38	9,5±3,6	111,2±95,6	1,89±0,729	1,27±0,434	0,59±0,165
1: detritus	26	6,7±2,6	80,1±89,0	1,39±0,572	1,07±0,346	0,59±0,138
2: deep rock	25	10,5±2,3	122,4±78,1	2,12±0,611	1,59±0,330	0,68±0,128
3: shallow rock	32	11,7±3,0	137,1±102,3	2,29±0,624	1,32±0,461	0,54±0,188

Fig. 4 - Dendrogram of cluster analysis and characterization of major groups.

Some species like *E. marginatus, S. porcus* and *Labrus spp.* appear in Table 1 in a single bathymetric belt, even though they were observed at different depths during the pre-survey. This is due to their low frequency of occurrence and abundance, as can be seen from the low rank assigned (by convention, ranks having a high value are considered low). The ranks obtained by a single species are often different in the three groups of samples, analogously to the preferences of habitat or depth of the species. At

times the value of the rank increases or decreases gradually, going from group 1 (deep detritus) to 2 (deep rock) and finally to 3 (shallow rock). This is the case of *B. boops, P. rouxi, S cantharus, S. doderleini, S. tinca, S. cabrilla* and *S. scriba.* These last two species are distributed over the whole study area but occupy different ranks: the first is more common on detritus, the second on shallow rocky bottoms, while they have similar ranks on deep rock.

Tab. 1 - Species present in the three groups identified by cluster analysis. For each species is indicated the rank, together with the mean abundance per sample ($\overline{N}$), its standard deviation (s.d.) and the frequency of occurrence (*f*).

FAMILY	SPECIES	GROUP 1 DETRITUS				GROUP 2 ROCK (DEEP)				GROUP 3 ROCK (SHALLOW)			
		rank	$\overline{N}$	s.d.	*f*	rank	$\overline{N}$	s.d.	*f*	rank	$\overline{N}$	s.d.	*f*
Apogonidae	*Apogon imberbis*					18	0.5	1.46	0.18	7.5	1.5	2.09	0.54
Atherinidae	*Atherina spp.*									22	1.9	11.51	0.03
Blenniidae	*Parablennius rouxi*	25	0.1	0.33	0.03	20	0.2	0.53	0.18	18	0.4	0.83	0.24
Centrachantidae	*Spicara maena*	15	2.9	16.43	0.08								
Gobiidae	*Gobius geniporus*	19	0.1	0.34	0.11	23	0.1	0.24	0.06				
	G. luteus					8	3.4	4.20	0.53	27	0.1	0.33	0.03
Labridae	*Coris julis*	1	24.6	10.56	1.00	1	10.6	4.26	1.00	3	11.9	5.80	0.97
	Labrus bimaculatus					24	0.1	0.24	0.06				
	L. merula									29.5	0.1	0.16	0.03
	L. viridis									31.5	0.1	0.08	0.03
	Symphodus cinereus	14	0.2	0.71	0.14					19	0.5	1.80	0.16
	S. doderleini	17	0.3	1.65	0.11	10	1.2	2.39	0.53	5.5	1.8	2.14	0.68
	S. mediterraneus	13	0.4	0.89	0.16	7	1.6	1.52	0.71	7.5	1.2	1.21	0.68
	S. melanocercus	26	0.4	0.18	0.05	14	0.7	1.52	0.35	20	0.2	0.55	0.22
	S. ocellatus	24	0.1	0.66	0.05					15	0.7	1.15	0.35
	S. roissali									16	0.5	0.73	0.38
	S. rostratus	16	0.2	0.49	0.14	25	0.1	0.24	0.06	12.5	0.6	0.79	0.46
	S. tinca	9	0.4	0.73	0.27	6	2.2	2.07	0.76	2	6.8	6.68	1.00
	Thalassoma pavo					21	0.1	0.26	0.12	12.5	0.8	1.37	0.43
Mugilidae	*Indet*									29.5	0.3	0.16	0.03
Mullidae	*Mullus surmuletus*	2	3.5	5.11	0.84	12.5	1.3	1.93	0.41	11	0.7	0.93	0.46
Pomacentridae	*Chromis chromis*	3	21.5	33.66	0.49	4	37.7	46.06	0.76	1	89.2	99.92	1.00
Scorpaenidae	*Scorpaena porcus*									26	0.1	0.39	0.08
Serranidae	*Ephinephelus marginatus*					22	0.2	0.73	0.06				
	Serranus cabrilla	5	0.9	0.88	0.62	15	0.3	0.44	0.29	25	0.1	0.32	0.11
	S. hepatus	12	0.4	1.07	0.19								
	S. scriba	18	0.2	0.60	0.11	12.5	0.7	1.15	0.47	5.5	1.3	0.98	0.81
Sparidae	*Boops boops*	7	18.2	55.11	0.24	19	2.9	12.13	0.06	21	0.3	0.68	0.19
	Dentex dentex	20.5	0.1	0.29	0.11								
	Diplodus annularis	4	1.9	3.98	0.57	2.5	7.3	12.96	1.00	4	4.7	6.05	0.97
	D. puntazzo	22	0.1	0.28	0.08	11	0.8	1.13	0.47	17	0.4	0.74	0.35
	D. sargus	11	0.4	1.10	0.19	9	4.4	8.17	0.47	24	0.1	0.42	0.11
	D. vulgaris	6	1.1	1.86	0.49	2.5	24.4	30.83	0.88	9.5	1.1	1.52	0.51
	Oblada melanura	23	0.1	0.59	0.05					9.5	8.7	36.31	0.38
	Pagellus erythrinus	20.5	0.3	1.05	0.08					28	0.1	0.25	0.03
	Sarpa salpa	10	1.0	3.53	0.19	5	21.2	28.99	0.65	14	1.3	3.36	0.30
	Sparus aurata					17	0.2	0.44	0.24	31.5	0.1	0.08	0.03
	Spondyliosoma cantharus	8	1.3	4.38	0.27	16	0.4	0.79	0.24	23	0.1	0.32	0.14

This leads one to suppose the existence of a partial sharing of ecological niches between the two species of Serranidae due to their similar position along the trophic webs. *C. chromis, C. julis* and *D. annularis* are the species that attain the highest ranks in the three groups; to these species are added, limited to their importance in a single group, *M. surmuletus, D. vulgaris* and *S. tinca.*

From a qualitative standpoint, substratum complexity influences the structure of fish communities (Harmelin, 1987). The results of this study show that spatial heterogeneity associated with depth, also influences the quantitative components of fish assemblages. The shallow rocky bottoms host not only a greater number of species than the deep rocky bottoms and the detrital ones, but also a greater number of individuals; in the same way, both mean specific richness and Margalef's index decrease. The specific diversity index is higher in the deep rocky bottoms, which are also characterised by higher equitability (Fig. 4), thanks, mainly, to the lower abundance of *C, chromis.* The global equitability index of 0.59±0.165 indicates that the dominance of *C. chromis* and *C. julis* pointed out above is mitigated by other species, like *Diplodus spp., Symphodus spp. and B. boops.*

4. CONCLUSIONS

The study of fish fauna by means of underwater visual census must include a preliminary phase in which general information can be gathered on the site and on the species present. These information must be used for choosing the most suitable sampling method and an adequate observation time must be estimated as a function of the results of cumulative specific richness curves. The fish population of the Le Ghiaie protected marine area is dominated qualitalively by Sparidae and Labridae, while the pomacentrid *C. chromis* is the most abundant species. The structure of fish assemblages seems to be practically Constant in the rocky coastal areas of the Mediterranean. The different habitats present in the study area contribute in different ways in determining the overall specific richness of fish assemblage, which proves to be analogous to those censuses in other protected areas of the western Mediterranean with similar characteristics. Different species are not homogeneously distributed in the study area. Some, such as *G. luteus* and *S. hepatus,* are present only in a particular zone, while other species, although ubiquitous, have very different abundance and frequency of occurrence from zone to zone. The structural complexity of the substratum, together with other factors still to be identified, which change with depth, seems to influence the distribution of fish fauna on the bottom surrounding Scoglietto both qualitatively and quantitatively. Compared with the deeper rocky zones and the detrital bottoms, the shallow rocky areas display considerably greater richness and abundance. Mean specific richness per sample and Margalef's index decrease in the same way from shallow rocky bottoms to detrital ones.

Underwater visual assessment methods represent an appropriate and effective tool for studying coastal fish assemblages and are the only sampling method that can be used in protected areas. Understanding the biological! and ecological processes that occur in these zones is of prime importance for designing and implementing natural resource management and conservation measures.

REFERENCES

Bell J.D. 1983. Effects of depth and marine reserve fishing restrictions on the structure of a rocky reef fish assemblage in the north-western Mediterranean sea. *Journal of Applied Ecology,* 20: 357-369.

Biagi F., De Ranieri S., Mori M., Sartor P. & Sbrana M. 1989. Preliminary analysis of demersal fish assemblages in the Northern Tyrrhenian sea. *Nova Thalassia,* suppl.1: 391-398.

Biagi F., Gambaccini S. & Zazzetta M. 1996a. Insediamento e microhabitat di specie ittiche nella fascia costiera toscana. *Biologia Marina Mediterranea,* 4(1): 195-203.

Biagi F., Gambaccini S. & Zazzetta M. 1996b. Popolamento ittico di un'area protetta all'Isola d'Elba. *Biologia Marina Mediterranea,* 4(1): 466-468.

Bohnsack J.A. & Bannerot S.P. 1986. A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fishes. *NOAA teck, rep.,* 41: 1-15.

Dufour V., Jouvenel J.Y. & Galzin R. 1995. Study of a Mediterranean reef fish assemblage. Comparison of population distributions between depths in protected and unprotected areas over one decade. *Aquatical Living Resources.,* 8: 17-25.

Francour P. 1991. The effect of protection level on a coastal fish community at Scandola, Corsica. *Revue Ecologie (Terre Vie),* 46: 65-81

Francour P. 1994. Pluriannual analysis of the reserve effect on ichthyofauna in the Scandola naturai reserve (Corsica, Northwestern Mediterranean). *Oceanologica Acta,* 17(3): 309-317.

Harmelin J.G. 1987. Structure and variability of the ichthyofauna in a Mediterranean Protected Rocky Area (National Park of Port-Cros, France). *P.S.Z.N.I.: Marine Ecology,* 8(3): 263-284.

Harmelin J.G. 1990. Ichtyofaune des fonds rocheux de Mediterranee: structure du peuplement du coralligène de l'île de Port-Cros (Parc national, France). *Mesogée,* 50: 23-30.

Harmelin J.G, Bachet F. & Garcia F. 1995. Mediterranean marine reserves: fish indices as tests of protection efficiency. *P.S.Z.N.I.: Marine Ecology,* 16(3): 233-250.

Harmelin-Vivien M.L. 1983. Elude comparative de l'ichtyofaune des herbiers de phanerogames marines en milieux tropical et tempere. *Revue Ecologie (Terre Vie),* 38: 179-210.

Garcia-Rubies A. & Zabala M. 1990. Effects of total fishing prohibition on the rocky fish assemblages of Medes Island marine reserve (NW Mediterranean). *Scientia Marina,* 54(4): 317-328.

Marconato A., Mazzoldi C., De Girolamo M., Stefanni S. & Maio G. 1996. L'uso del visual census nello studio della fauna ittica costiera. *Biologia Marina Mediterranea,* 3(1): 512-513.

Relini M. & Torchia G. 1993. Distribuzione spaziale dei pesci sulla barriera artificiale di Loano (SV). *Biologia Marina* Suppl. al Notiziario S.I.B.M., 1: 195-200

Tunesi L. & Vacchi M. 1993. Indagini visuali in immersione nell'area marina di Portofino: applicazione di un metodo per lo studio dei popolamenti ittici. *Biologia Marina,* Suppl. al Notiziario S.I.B.M., 1: 355-360.

Zazzetta M. 1996. Struttura dell'ittiofauna di un ambiente costiero mediterraneo. Insediamento e mortalità di giovani di sarago reale, *Diplodus sargus* (L. 1758) *(Pisces: Osteichthyes, Sparidae). Tesi di Laurea, Università di Pisa,* 240 pp.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 285 - 301.

HYDROLOGY AND WATER BUDGET OF A SUBMARINE CAVE WITH SULPHIDIC SPRINGS: THE "GROTTA AZZURRA" OF CAPO PALINURO (SOUTHERN ITALY)

C.Nike BIANCHI[1], Marco ABBIATI[2], Laura AIROLDI[2], Massimo AL VISI[3], Lisandro BENEDETTI-CECCHI[2], Andrea CAPPELLETTI[1], Francesco GEMELLI[2], Paolo COLANTONI[4], Paul R.DANDO[5,7], Carla MORRI[6], Ilaria NICCOLAI [1], Paola PICCO [1], Alan SOUTHWARD[7], Eve SOUTHWARD[7]

[1] Marine Environment Research Centre, ENEA Santa Teresa, PO Box 316, I-19100 La Spezia, Italy
[2] Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università di Pisa, via Volta 6, I-56121 Pisa, Italy
[3] OTA, Largo Molina 7, I-40138 Bologna, Italy
[4] Istituto di Geodinamica e Sedimentologia, Università di Urbino, località Crocicchia, I-61029 Urbino, Italy
[5] School of Ocean Sciences, University of Wales, Bangor, Menai Bridge, Anglesey LL59 5EY, UK *(present address)*
[6] Istituto di Zoologia, Università di Genova, via Balbi 5,1-16126 Genova, Italy
[7] Marine Biological Association, The Laboratory, Citadel Hill, Plymouth PL1 2PB, UK

RIASSUNTO

Idrologia e bilancio idraulico di una grotta sottomarina con risorgenze sulfuree: la Grotta Azzurra di Capo Palinuro (Italia meridionale) - Nella parte più interna della Grotta Azzurra, dove si trova la principale risorgenza idrotermale, le acque sulfuree "galleggiano" sull'acqua marina, rimanendo intrappolate contro la volta della cavità e determinando la formazione di un picnoclino a 9.5-10 m di profondità. Misure effettuate con sonda multiparametrica (Idronaut Diver Monitor 101) sopra il picnoclino hanno mostrato che tali acque, rispetto a quelle sottostanti, sono più calde (+4.7 °C in media annuale), meno salate (33-34PSU) e più acide (pH = 7.2); inoltre sono praticamente anossiche (O_2<1 cm^3dm^{-3}). I valori dei parametri fisico-chimici nelle acque sotto il picnoclino, le misure di corrente (effettuate tramite minicorrentometri ad induzione magnetica Idromar SD-4) ed il calcolo del bilancio idraulico indicano che la Grotta Azzurra, cavità di circa 46-000 m^3 complessivi, non è confinata. Questi risultati suggeriscono che il confinamento nelle grotte sottomarine dipende dalla taglia, oltre che dalla forma: grotte grandi, seppure a fondo cieco, sono poco confinate. Il flusso idrotermale svolge un ruolo trascurabile nella circolazione generale della Grotta Azzurra, ma probabilmente facilita il ricambio dell'acqua sotto la volta della cavità, laddove sono stati infatti riscontrati i massimi valori di diversità e di ricoprimento della fauna sessile.

ABSTRACT

Springs of sulphidic water inside the "Grotta Azzurra" *(i.e.,* Blue Grotto), located at Capo Palinuro (Salerno, Italy), create a strong thermocline/chemocline at about 9.5 m depth, with the warm, less dense, sulphide-rich waters trapped under the roof of the cave and overlaying the cooler ambient seawater. This thermocline/chemocline is permanent, the water above it having higher temperature (+4.7 °C as a yearly average), reduced salinity (to 33-34 PSU) and pH (to 7.2), and a severe oxygen depletion (generally <lcm^{3}dm^{-3}). Current measurements indicated that no hydrological confinement exists in the Grotta Azzurra, apart from remote side branches. Water budget computation showed that complete turn-over in the cave normally requires less than one hour and only during periods of glassy cairn sea should the Grotta Azzurra undergo trophic depletion. These results suggest that confinement in submarine caves strongly depends on cave size, large caves being less confined than small caves. The outflow from the hydrothermal springs plays little role in the general water circulation inside the Grotta Azzurra, but is likely to improve local water exchange under the roof, where the most diverse and highest faunal cover has been observed.

1. INTRODUCTION

Since the introduction of SCUBA-diving techniques among scientists, marine ecologists have been attracted to submarine caves (Riedl, 1978; Palmer, 1989) because they offer easily accessed models of simplified hard bottom communities (Ott & Svoboda, 1978), sometimes with aspects of deep-sea habitats (Boury-Esnault *et al.,* 1993; Vacelet *et al.,* 1994; Harmelin, 1997).

The occurrence in submarine caves of strong environmental gradients on spatial scales of a few meters, easily perceived by the diver, allows the investigation of patterns of community zonation in great detail. Riedl (1966) provided a first synthesis of such investigations. Subsequent studies continued floral and faunal inventories, as well as describing evolutionary aspects and ecosystem functioning (see Bianchi, 1994, and Bianchi *et al.,* 1996, for recent reviews), but measurement of the hydrological parameters responsible for the ecological gradients within submarine caves has received less attention until recently (Zabala *et al.,* 1984; Passelaigue & Bourdillon, 1985; Riera *et al.,* 1985; Gili *et al.,* 1986; Bianchi *et al.,* 1988; Zabala *et al.,* 1989; Morri *et al.,* 1994a; Harmelin, 1997).

The present paper reports on physico-chemical and current measurements taken in the submarine cave known as "Grotta Azzurra" (*i.e.,* Blue Grotto), located at Capo Palinuro, Salerno, Italy. The data are used to describe the main hydrologic features of the Grotta Azzurra, whose topography has been reported by Alvisi *et al.* (1994a), and to make a first attempt to establish a hydraulic budget for the cave.

A major peculiarity of the Grotta Azzurra - and of other caves at Capo Palinuro (Alvisi *et al,* 1994b) - is the occurrence of sulphide-rich waters springing inside the cavity, a rare feature in caves elsewhere. The geochemistry of the sulphidic waters in the

Grotta Azzurra has been studied by Stüben *et al.* (1996). These waters, warm and of slightly reduced salinity, are less dense than the ambient sea water, and thus accumulate under the roof of the inner part of the Grotta Azzurra. Above the thermocline/chemocline (strongly perceptible to the diver), flourishing bacterial mats develop (Mattison & Dando, 1994; Mattison *et al.,* 1998).

Biological explorations in the cave (Abbiati *et al.,* 1992; Bianchi *et al.,* 1994; Cinelli *et al.,* 1994; Southward *et al.,* 1996) also showed the occurrence of a rich fauna, which is another unusual feature. Typical submarine caves exhibit very poor and scattered faunal assemblages, with gradual decrease of species number and organismal cover along the outside-inside gradient (Harmelin *et al.,* 1985). Several authors (Ott & Svoboda, 1978; Gili *et al.,* 1986; Fichez, 1990b, 1990c, 1991b and 1991c) believe that the reduced availability of food is the factor responsible for this impoverishment (trophic depletion hypothesis). Due to the absence of light, primary producers are absent, and marine caves are thus zones of 'pure secondary' production (Riedl, 1966). Filter-feeders are the major secondary producers (Bianchi, 1985) and their life is directly conditioned by water movement, which assures the supply of organic matter and live prey, water exchange, and dispersion of larvae (Balduzzi *et al.,* 1989). The inner parts of submarine caves are typically confined from a hydrologic point of view (Bianchi & Morri, 1994), and the poor water exchange is considered the major cause of oligotrophy and of the severe reduction in biomass (Fichez, 1990a).

It has been suggested that the unusual faunal abundance in the Grotta Azzurra is correlated with the presence of the sulphide springs, and that, as discovered in a terrestrial cave (Sarbu *et al.,* 1994 and 1996), consumers may exploit the chemosynthetic primary production by sulphur-oxidising bacteria (Abbiati *et al.,* 1994; Morri *et al.,* 1994b). On the basis of the composition of particulate material in the cave, Airoldi & Cinelli (1997) calculated that chemosynthesis contributed 31 % of the total supply of particulate organic carbon. Analysis of stable carbon isotopes (Southward *et al.,* 1996) provided evidence that bacterial production represents a major energetic source for some organisms in the cave. However, not all organisms seem to feed on bacterial matter: thus different effects of the hydrothermal springs, such as enhanced water circulation in the most confined parts of the cave, have been suggested as factors producing the greater biotic richness in the Grotta Azzurra.

2. MATERIALS AND METHODS

The Grotta Azzurra is a large cavity opening in the carbonatic rock of Punta della Quaglia, at the NW corner of Capo Palinuro (Fig. 1). It can be accessed by two distinct entrances: one to the East, the other to the West, the latter being practicable only underwater. On the basis of the topographic survey of Alvisi *et al* (1994a), three main zones were identified in the cave. The "Tunnel d'Ingresso" *(i.e.,* Entrance Tunnel) is a high corridor connectìng the eastern entrance to the main body of the cave - the "Salone Centrale" *(i. e.,* Central Hall). The third zone is a blind-ended hall extending southward

and called "Sala della Neve" (*i. e.*, Snow Hall): the name derives from the white flakes of organic matter of bacterial origin falling from the roof, resembling snow.

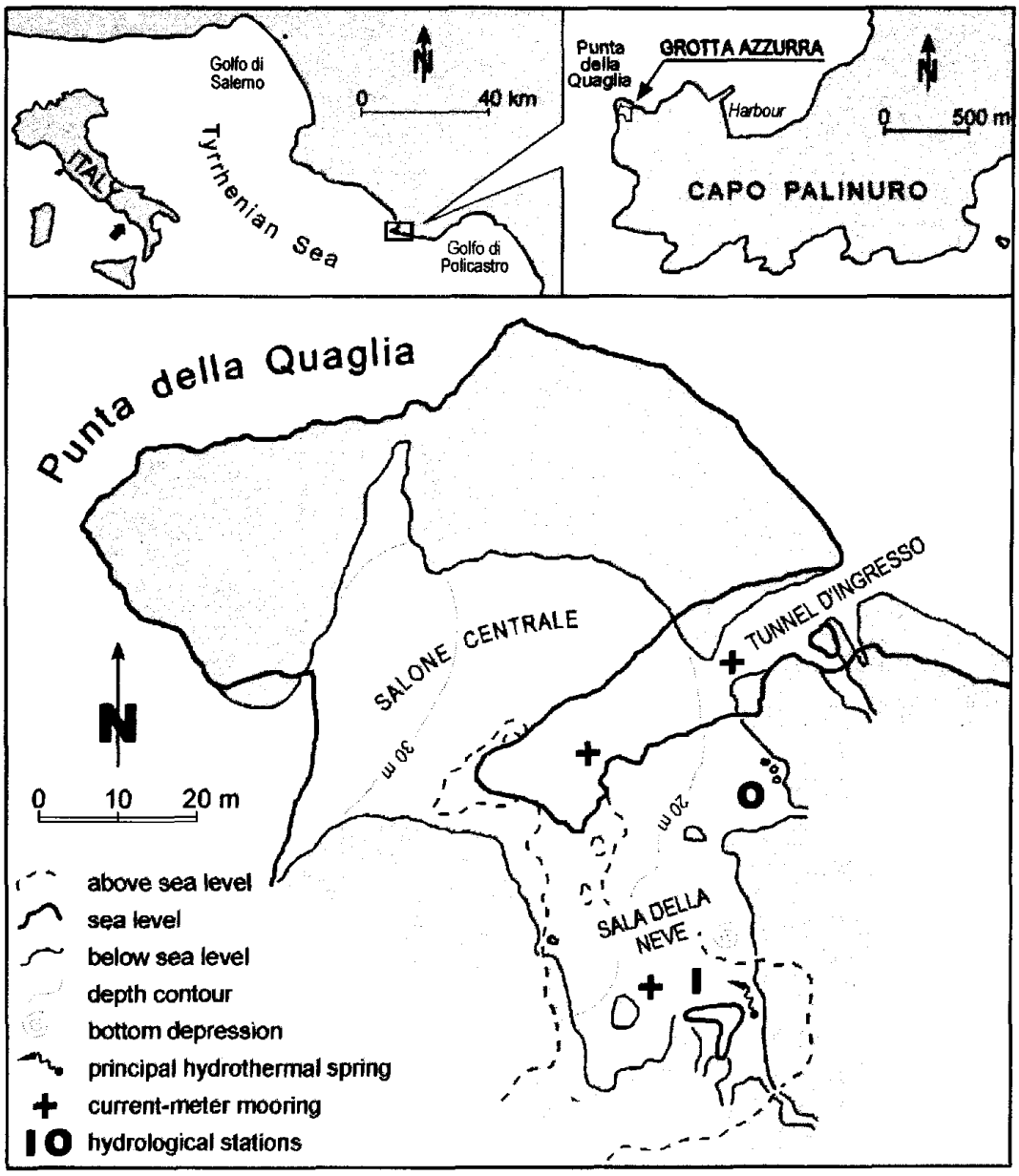


Fig. 1 - Capo Palinuro (with situation of the Grotta Azzurra) in Italy. Map of the Grotta Azzurra with the three main zones discussed in the text. The positions of the principal hydrothermal spring, stations I and O, and current-meter moorings, are also indicated.

On several occasions (13 November 1993, 14 February 1994, 29 May 1994, 26 October 1994, 27 February 1995 and 29 May 1995), water temperature (°C), conductivity ($mScm^{-1}$), dissolved oxygen (cm^3dm^{-3}), and pH were measured with a diver-held multiparametric probe (Hydronaut Diver Monitor 101) at two stations (Fig. 1). Station I was located in the innermost part of the cave, dose to the principal sulphidic spring, station O was located in the main hall of the cave, a zone not directly influenced by hydrothermal activity. At both stations, vertical profiles of parameters were traced from 7 m to 15 m depth, crossing the chemocline (at 9.5-10 m depth) at station I. Preliminary temperature measurements (shown in Southward *et al.,* 1996) were also taken on 23 May 1992 at station I with a diver-held digital thermometer (Hydronaut Sri). The diver always look care to restrict breathing and to keep still during measurement, to reduce disturbance to a minimum (Sgorbini *et al,* 1988).

The yearly temperature cycle was reconstructed by fitting a cosine function to the data. Salinity (UPS) was obtained from temperature and conductivity data through UNESCO formulas (Artegiani & Ribera d'Alcalà, 1990). Oxygen saturation of the water (%) was computed by reference to the tables of Grasshoff *et al.* (1983).

Currents (cms^{-1}) were measured at three sites, representing distinct zones of the cave (Fig. 1), on 23 May 1994 and 7 June 1994 with magnetic induction field current-meters (Idromar Sensordata A/S SD-4). On both occasions, three portable current-meters were moored at comparable depth (13 to 18 m) for 24 h. During the first measurements, the sea was glassy cairn; during the second, the sea was slight with a gentle breeze from the 1st quadrant.

The approximate geometrical features of the cave (volumes, in m^3, and areas of the entrance sections, in m^2) were calculated on the basis of measurements taken from the topographic maps produced by Alvisi *et al.* (1994a). Geometric data, together with current data, were used to compute theoretic water loads ($m^3\ s^{-1}$) and turn-over times, in order to provide a first estimate of the hydraulic budget of the cave.

3. RESULTS

3.1. Temperature

At both stations, sea-water temperature obviously changed seasonally, ranging from a little more than 14 °C in February, to 18-19 °C in May and to about 21 °C in October and November (Fig. 2).

No thermal stratification was observed between 7 m and 15 m of depth at station O, apart from some variability down the water column in May. On the contrary, a strong thermocline was always found at station I, the water temperature above it ranging from 21 °C to 24°C.

3.2. Salinity

At station O and below the chemocline at station I, salinity lay mostly in the range 36.5 to 38 PSU. The lowest values were typically recorded in February (Fig. 3).

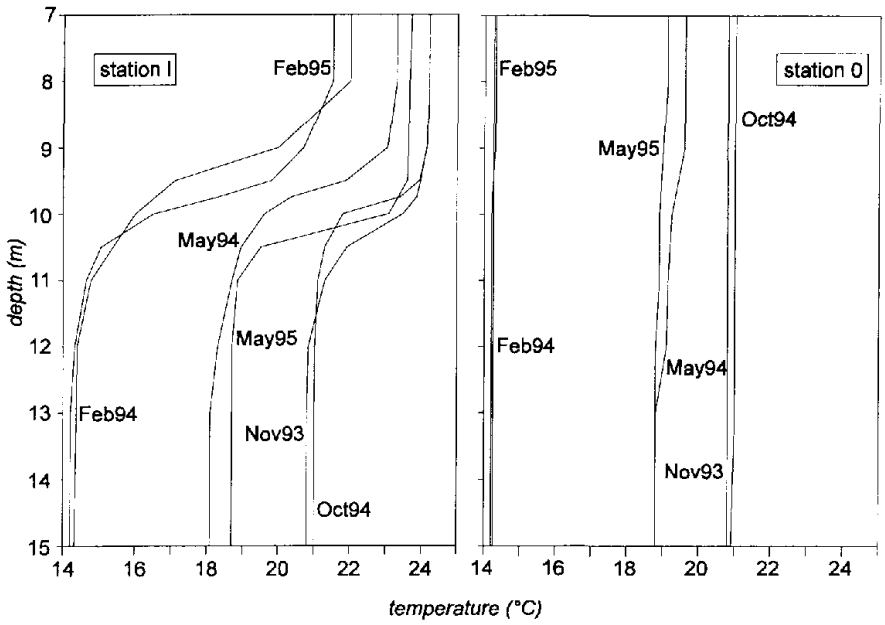


Fig. 2 - Vertical profiles of temperature in waters of the Grotta Azzurra. Station I is located inside the hydrothermal spring area, station O outside that area.

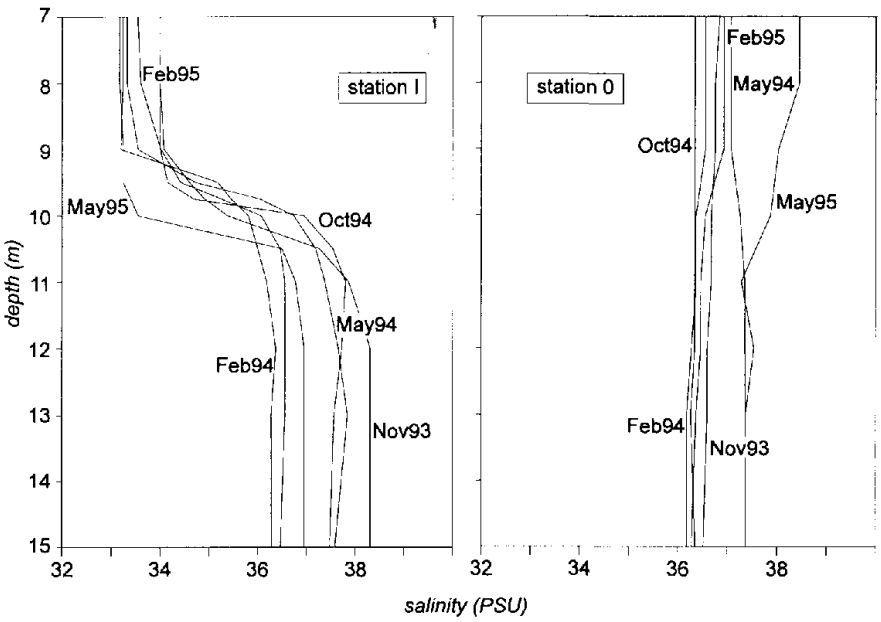


Fig. 3 - Vertical profiles of salinity in waters of the Grotta Azzurra. Station I is located inside the hydrothermal spring area, station O outside that area.

Above the chemocline at station I, salinity was always reduced, to a little more than 33 PSU in February and May in both years, and to 34 PSU in October/November.

3.3. Oxygen

The vertical distribution of oxygen concentration at station O was often irregular, but no consistent and significant trend could be observed (Fig. 4). Values were commonly around 5.5 cm^3dm^{-3} and 6 cm^3dm^{-3}, resulting in oversaturated waters in most cases.

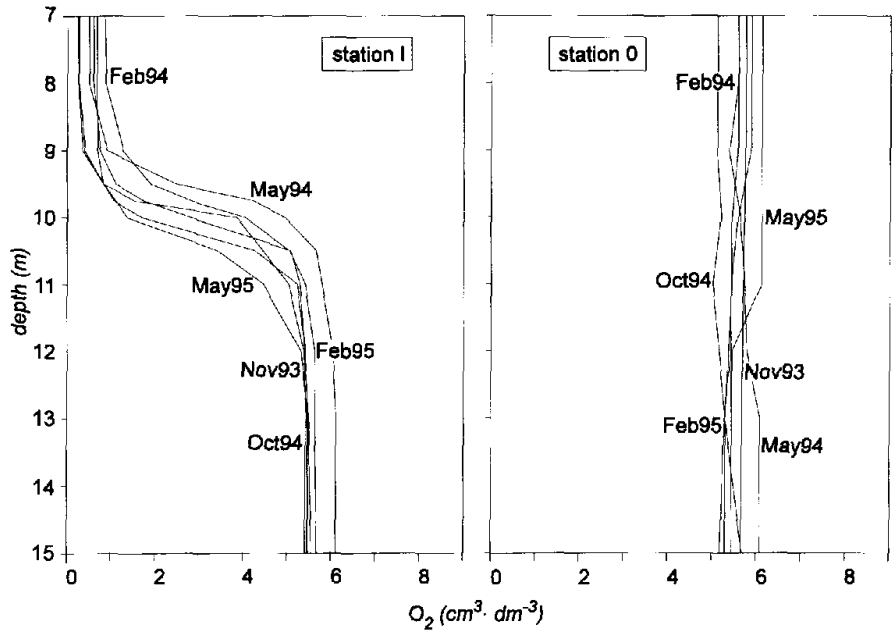


Fig. 4 - Vertical profiles of oxygen concentration in waters of the Grotta Azzurra. Station I is located inside the hydrothermal spring area, station O outside that area.

In contrast, nearly anoxic conditions were recorded in the water above the chemocline at station I. Concentrations were always lower than 1 cm^3dm^{-3}, corresponding to around 10% saturation. At the chemocline, values rose to 2-4 cm^3dm^{-3}; shortly below they were similar to those of station O.

3.4. pH

At station O and below the chemocline at station I, pH was virtually Constant at about 8.2 (Fig. 5). Slightly lower values (approaching 8.1) at station O in May and October, might be simply due to measurement inaccuracy and not reflect a real trend.

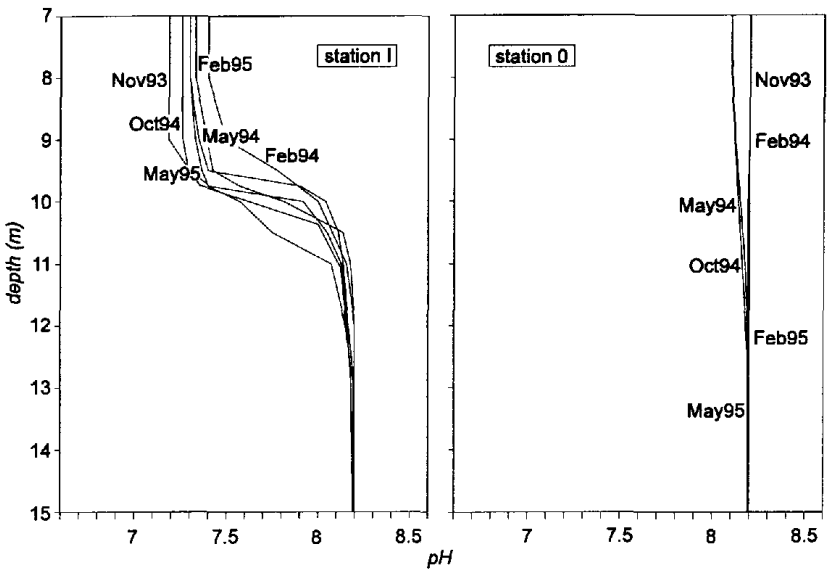


Fig. 5 - Vertical profiles of pH in waters of the Grotta Azzurra. Station I is located inside the hydrothermal spring area, station O outside that area.

Above the chemocline at station I, pH was reduced to 7.2-7.4, with slightly higher values in February and lower ones in October/November, in both years.

3.5. Currents

There was virtually no current in the Grotta Azzurra during measurement with a calm sea outside. Current velocity was mostly below the detection limit of the current-meter (ca. 1 cms^{-1}) and only at the mooring site in the Salone Centrale, a value of about 2 cms^{-1} (Tab. 1) was recorded. Currents were mainly directed E-SE in the whole cave, suggesting a prevailing influence of the western entrance on cave circulation in these weather conditions.

Tab. 1 - Current measurements in three distinct zones of the Grotta Azzurra (see Fig. 1). Portable current-meters were moored during 24 h in two days with different weather conditions.

	23 May 1994 Glassy calm sea		7 June 1994 Slight sea, NE wind	
	Velocity	Direction	Velocity	Direction
Tunnel d'Ingresso	<1 cms^{-1}	90°	6 cms^{-1}	184°
Salone Centrale	2 cms^{-1}	134°	10 cms^{-1}	258°
Sala della Neve	<1 cms^{-1}	128°	7 cms^{-1}	173°

A fortnight later, with slight sea and NE wind, currents were about 6 to 10 cms^{-1} and directed S-SW at all moorings. Stronger currents can evidently be expected when rough seas prevail outside.

3.6. Cave geometry

The Tunnel d'Ingresso is about 24 m long, 8 m wide and 20 m deep. Including two minor side branches and excluding a large rocky balcony at 2 m to 6 m depth, its volume can be calculated to be 3,400 m^3.

The Salone Centrale is a 50 m long and 30 m wide hall, reaching 32 m of depth. Although it has a blind-ended branch on its northern wall, it is mainly a large tunnel located between the Tunnel d'Ingresso and the western entrance. Its total volume is about 34,600 m^3.

Finally, the Sala della Neve is about 33 m long and 26 m wide, with a maximum height of 14 m tapering towards the southern end: its volume is nearly 8,000 m^3.

The total volume of the Grotta Azzurra can thus be estimated to about 46,000 m^3, less than one half of previous rough estimates (Abbiati *et al.,* 1992).

The section areas of the two entrances are 88 m^2 for the eastern entrance, and 402 m^2 for the western entrance. Within the measured current range, the water load flowing through them can be calculated as 0.9 m^3s^{-1} to 8.8 m^3s^{-1} and 4 m^3s^{-1} to 40.2 m^3s^{-1}, respectively (Tab. 2).

Tab. 2 - Calculated water flow trough the two entrances of the Grotta Azzurra (see Fig. 1) at different current velocities (v).

	Area (m^2)	Hydraulic load (m^3s^{-1})		
		v = 10 cms^{-1}	v = 5 cms^{-1}	v = 1 cms^{-1}
Eastern Entrance	88	8.8	4.4	0.9
Western Entrance	402	40.2	20.1	4.0
Average	245	24.5	12.3	2.5

3.7. Turn-over times

In the tunnel-shaped parts of the cave, namely the Tunnel d'Ingresso and the Salone Centrale, water turn-over is caused by the flow between the two facing entrances. With the current intensity measured in conditions of slight sea, water may be expected to be completely renewed within less than half an hour. With glassy cairn sea, complete turnover may require few hours (Tab. 3).

For the blind-ended Sala della Neve, water turn-over is mainly dependent on diffusion from the seaward end to the innermost parts. A particle travelling along the whole perimeter of the Sala della Neve, will spend more than two hours and half in conditions of glassy cairn sea, and only a quarter of hour with a current of 10 cms^{-1}. These figures arise from a very conservative calculation, since not every water particle needs to travel the whole perimeter to assure a complete turnover: realistic turn-over times may correspond to about half these figures.

Tab. 3 - Calculated turn-over times of the water in the distinct zones of the Grotta Azzurra (see Fig. 1), at different current velocities (v).

	Turn-over time		
	V = 10 cm s^{-1}	v = 5 cm s^{-1}	v = 1 cm s^{-1}
Tunnel d'Ingresso (3,400 m^3)	6' 26"	12' 53"	1 h 03'
Salone Centrale (34,600 m^3)	14' 21"	28' 41"	2 h 23'
Sala della Neve (8,000 m^3)	15' 30"	31'	2 h 35'

4. DISCUSSION

4.1. Hydrology

Fitting a cosine-function to the temperature data at 8 m and 13 m depth (Fig. 6), showed that the difference in water temperature above and below the thermocline at station I remained through the years 1992 to 1995. This difference averages 4.7 °C on a yearly basis, ranging from a minimum of 1.8 °C at the end of August to a maximum of 7.3 °C at the end of March.

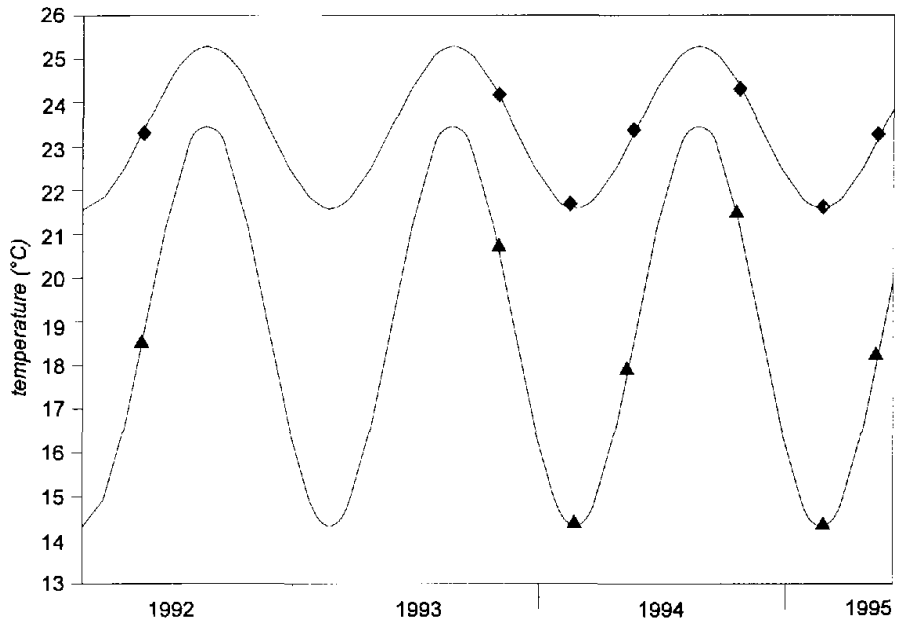


Fig. 6 - Estimated trends, between 1992 and 1995, of water temperature above and below the thermocline/chemocline in the Sala della Neve. Lines express a cosine function of time (Julian days) at 8 m and 13 m depth, diamonds are actual measurements at 8 m, triangles are actual measurements at 13 m.

Salinity, oxygen and pH always showed strongly reduced values in the water above the chemocline, providing further evidence of cyclically stable conditions there. This means that the activity of the hydrothermal springs is continuos on an annual scale, although observations during the dives showed the flow may be intermittent over shorter periods. Stüben *et al.* (1996) observed that temperature, salinity, oxygen and pH varied with a periodicity of about 12 h, thus suggesting tidal forcing: venting of fluids was shown to accompany tidal highs.

The physico-chemical values at station O can be considered normal for coastal marine waters of the region. The fact that the values of all parameters at station O and below the chemocline in station I were always similar, suggests that Sala della Neve is not confined from a hydrological point of view, notwithstanding its blind-ended topography. Ambient sea water was usually oversaturated with oxygen, even in the innermost station.

Lack of a clear confinement gradient in the Grotta Azzurra is also confirmed by current measurements: on both dates, current velocity in Sala della Neve was not significantly different from that measured in other parts of the cave.

Sharp physical-chemical longitudinal gradients within blind-ended caves have been noted by several authors (Passelaigue & Bourdillon, 1985; Riera *et al.,* 1985; Bianchi *et al.,* 1988; Balduzzi *et al.,* 1989; Fichez, 1991a), but homogeneity in hydrological conditions within a blind-ended cave has already been observed by Gili *et al.* (1986) and Zabala *et al.* (1989).

4.2. Water budget

On the basis of shape and volume, and comparing with data in Riedl (1966), the different parts of the Grotta Azzurra should have food reserves for a few hours: in particular, the Tunnel d'Ingresso should have resources for 1 h 16', the Sala della Neve for 2h and the Salone Centrale for 3h20' (Fig. 7). This means that with low water movement, the whole Grotta Azzurra should be dose to food depletion, since water turn-over in conditions of cairn sea requires more than two hours. However, nearly complete lack of water movement is probably an unusual situation, to be encountered only a few days per year. With a current intensity of about 10 cms^{-1}, a figure that may reasonably represent a sort of average situation, the complete turnover of water in the whole cave requires less than one hour.

From these premises, there can be little or no confinement and trophic depletion in the Grotta Azzurra. This result was anticipated for the tunnel-shaped parts (Tunnel d'Ingresso and Salone Centrale): Harmelin (1969) was the first to point out the apparent lack of confinement in a tunnel-shaped cave, as confirmed by later studies (Harmelin, 1980; Zabala *et al.,* 1989; Morri *et al.,* 1994a). The topography of the Sala della Neve had previously led us to hypothesise that it was confined in terms of hydrodynamic conditions (Cinelli *et al.,* 1994). This hypothesis does not now appear to be tenable. Studying particulate matter, Airoldi & Cinelli (1996) did not find significant differences among the distinct zones of the Grotta Azzurra, except the reduction in chlorophyll *a* concentration in the innermost parts. In the case of the Sala della Neve, moreover, loss in chloropigments cannot be considered a sufficient index of trophic depletion, as in

"normal" caves (Fichez, 1990c), because it may be counterbalanced by bacterial chemoautolithotrophic production in the innermost parts.

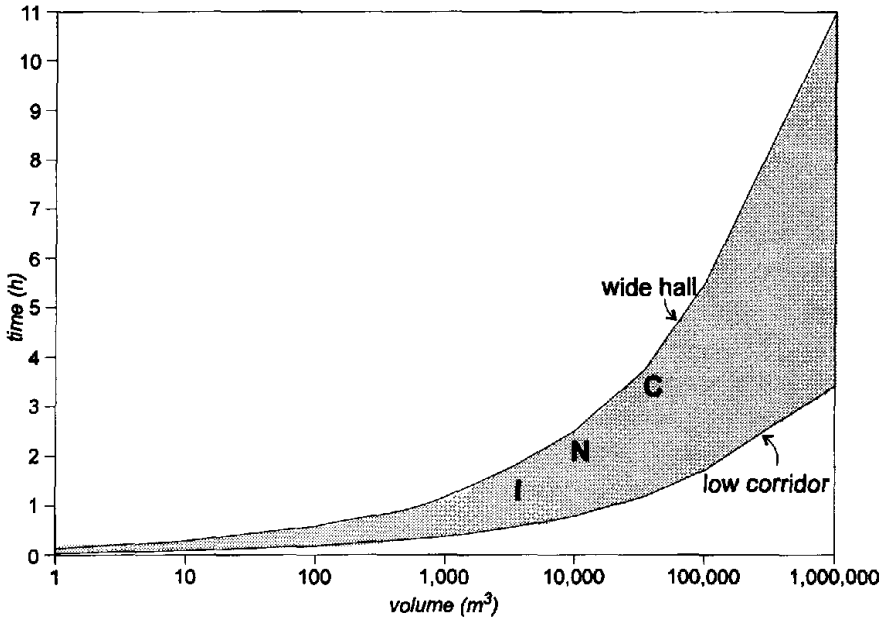


Fig. 7 - Expected food availability to filter feeders (expressed as duration time) according to cavity volume and shape (ranging from low corridor to wide hall). Based on data from Table 18 in Riedl (1966). **I** = Tunnel d'Ingresso, **N** = Sala della Neve, **C** = Salone Centrale (see Fig. 1).

Southward *et al.* (1996) also argued that the outflow of warm water from the sulphidic springs might improve water flow within the Sala della Neve, thus reducing the apparent confinement. Alvisi *et al.* (1994b) estimated that these springs have an outflow of several tens of litres per second. If, for instance, we assume a value of 301 s^{-1} (corresponding to 0.03 m^3 s^{-1}), then the complete turn-over of the Sala della Neve (8,000 m^3 in volume) would require about 3 days, a figure that is more than an order of magnitude slower than those computed on the basis of current velocity. This means that the sulphidic springs may hardly contribute to the water renewal of the Sala della Neve.

However, the warm sulphidic water flows towards the seaward end of the Sala della Neve through an 'inverted gutter' excavated by corrosion in the roof, from which it escapes at a leak point and eventually reaches the surface and disperses outside the cave (Fig. 8). The water flows at a comparatively great speed in the inverted gutter, as easily seen by divers and in video records (Cinelli, unpublished data), and can thus locally enhance water exchange and improve living conditions, bringing bacterial food to the sessile epifauna, removing their catabolites, and helping water oxygenation by turbulence. It is probably not a coincidence that the greatest abundance and largest growth of sessile epifauna (Morri *et al.,* 1994b; Southward *et al.,* 1996; Benedetti-Cecchi *et al.,*

1996a, 1996b and 1998) occur under the vault between the Sala della Neve and the Salone Centrale, in dose proximity to the inverted gutter and the leak point.

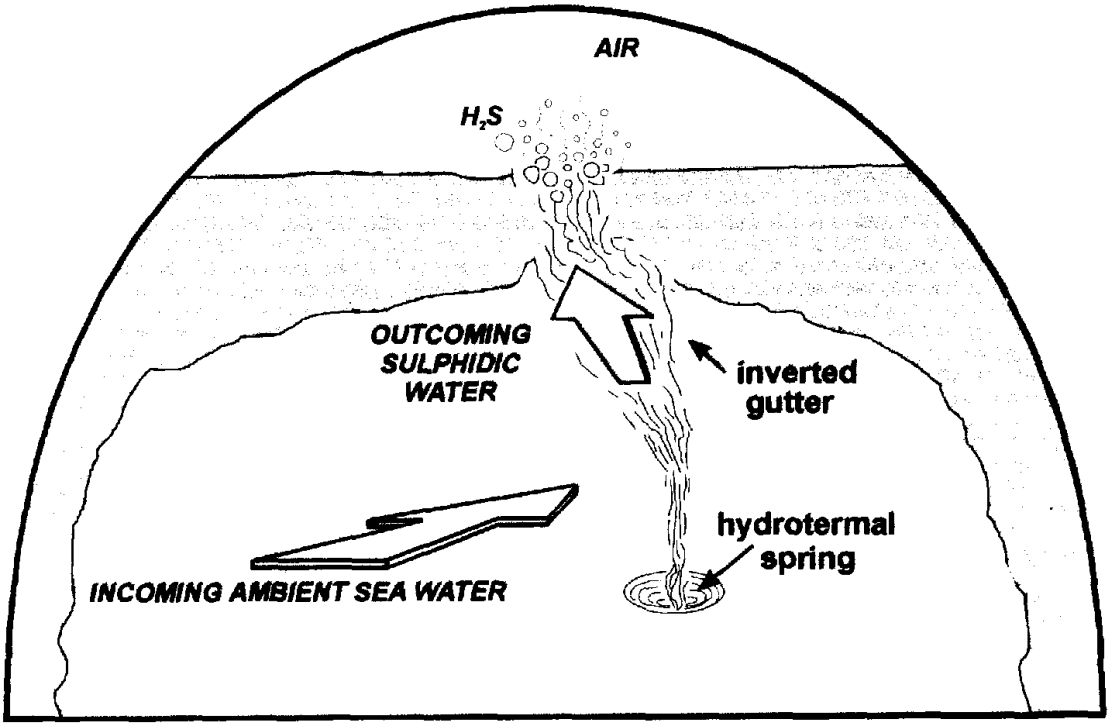


Fig. 8 - A schematic pictorial view of the inverted gutter at the roof of the Sala della Neve, with sulphidic waters flowing in it and escaping from a leaching point.

5. CONCLUSIONE

It was beyond the scope of the present paper to provide a detailed analysis of the physico-chemical gradients and water circulation of such a vast and complex cave as Grotta Azzurra. However, a few points may be presented here as conclusions.

The thermocline/chemocline between the warmer sulphidic hydrothermal waters and the cooler ambient seawater is permanent, and the characteristics of the water above it are cyclically stable. These characteristics include higher temperature (+4.7 °C as a yearly average), reduced salinity (to 33-34 PSU) and pH (to 7.2), and a severe oxygen depletion (generally <1 cm^3dm^{-3}).

It has been showed in previous papers (Southward *et al.,* 1996; Mattison *et al.,* 1998) that the thermocline/chemocline acts as an oxic-anoxic interface, exploited chemolithoautotrophically by sulphur-oxidising bacteria. The importance of bacterial

production as a food source for at least some of the marine fauna living in the Grotta Azzurra, and particularly in the innermost Sala della Neve, has also been discussed elsewhere (Southward *et al.,* 1996; Airoldi *et al*., 1997). As the oxic-anoxic interface is persistent through lime, the food supply from bacterial production is likely to be equally continuous.

Current measurements and water budget computation indicate that no hydrological confinement nor trophic depletion exist in the Grotta Azzurra, apart from remote side branches and/or during periods of glassy cairn sea.

Hydrological data and water budget estimates suggest that confinement in submarine caves is not only dependent on cave shape (*i. e.,* blind-ended *vs.* tunnel) but also on size, large caves with wide rooms being less confined than small caves with narrow gullies.

The outflow from hydrothermal springs plays a little role in the general water circulation inside the Grotta Azzurra, but may be important locally: under the roof, it is likely to improve water exchange, thus inducing higher faunal cover. Apart from food and water exchange, sulphidic springs might influence the cave ecosystem through other factors, such as enrichment in oligoelements from the hydrothermal waters: these aspects need further investigation.

ACKNOWLEDGEMENTS

Luigi Ghelia and the staff of "Pesciolino Sub" provided logistic support at Palinuro and helped with technical assistance; the diving ability of Fabio Barbieri and his knowledge of the Grotta Azzurra have been highly appreciated. This research was carried out within the EC-MAST programme "Oxic-anoxic interfaces as productive sites" (Contract MAS2-CT93-0058).

REFERENCES

Abbiati M., Airoldi L., Alvisi M., Bianchi C.N., (Tinelli F., Colantoni P. & Morri C. 1992. Preliminary observations on benthic communities in a submarine cave influenced by hydrothermal springs. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 33: 25

Abbiati M., Airoldi L., Castelli A., Cinelli F. & Southward A.J. 1994. Preliminary observations on a dense population of *Phyllochaetopterus socialis* Claparède at the sulphourous water boundary in a Mediterranean submarine cave. *Mem. Mus. natn. Hist. nat. Paris,* 162: 323-329.

Airoldi L. & Cinelli F. 1996. Variability of fluxes of particulate material in a submarine cave with chemolithoautotrophic inputs of organic carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 139:205-217.

Airoldi L. & Cinelli F. 1997. Sources and biochemical composition of suspended particulate material in a submarine cave with sulphur water springs. *Mar. Biol.,* 128: 537-545.

Airoldi L., Southward A.J., Niccolai I. & Cinelli F. 1997. Sources and pathways of particulate organic carbon in a submarine cave with sulphur water springs. *Water Air Soil Poll,* 99: 353-362

Alvisi M., Barbieri F., Bruni R., Cinelli F., Colantoni P., Grandi G.F. & Maltoni P. 1994a. La Grotta Azzurra di Capo Palinuro (Salerno). *Mem. Ist. ital. Speleol.,* Bologna, ser.2, 6: 51-56.

Alvisi M., Barbieri F. & Colantoni P. 1994b. Le grotte marine di Capo Palinuro. *Mem. Ist. ital. Speleol.,* Bologna, ser.2, 6: 143-181.

Artegiani A. & Ribera d'Alcalà M. 1990. Salinità. *Nova Thalassia,* 11: 77-83.

Balduzzi A., Bianchi C.N., Boero F., Cattaneo-Vietti R., Pansini M. & Sarà M. 1989. The suspension-feeder communities of a Mediterranean sea cave. *Scientia mar.,* 53 (2-3): 387-395.

Benedetti-Cecchi L., Airoldi L., Abbiati M. & Cinelli F. 1996a. Estimating the abundance of benthic invertebrates: a comparison of procedures and variability between observers. *Mar. Ecol. Progr. Ser.,* 138: 93-101.

Benedetti-Cecchi L., Airoldi L., Abbiati M. & Cinelli F. 1996b. Exploring the causes of spatial variation in an assemblage of benthic invertebrates from a submarine cave with sulphur springs. *J. exp. mar. Biol. Ecol.,* 208: 153-168.

Benedetti-Cecchi L., Airoldi L., Abbiati M. & Cinelli F. 1998. Spatial variability in the distribution of sponges and cnidarians in a sublittoral marine cave with sulphur water springs. *J. mar. biol. Ass. UK,* 78: 43-58.

Bianchi C.N. 1985. Structure trophique du peuplement annélidien dans quelques grottes sous-marines méditerranéennes. *Rapp. Comm. int. Mer Médit., 29* (5): 147-148.

Bianchi C.N. 1994. Biologia delle grotte marine del Mediterraneo. In: *Mare ed ecologia.* (Fiorentini A. ed.). Provincia di Genova, Unione Regionale Province Liguri, e Marevivo, Genova: 35-44.

Bianchi C.N., Cattaneo-Vietti R., Cinelli F., Morri C. & Pansini M. 1996. Lo studio biologico delle grotte sottomarine: conoscenze attuali e prospettive. *Boll. Mus. Ist. biol. Univ.* Genova, 60-61 (1994-95): 41-69.

Bianchi C.N., Cevasco M.G., Diviacco G. & Morri C. 1988. Primi risultati di una ricerca ecologica sulla grotta marina di Bergeggi (Savona). *Boll. Mus. Ist. biol. Univ. Genova, 52* suppl. (1986): 267-293

Bianchi C.N., Cinelli F. & Morri C. 1994. The biology of a submarine cave with sulphur springs: the Grotta Azzurra of Capo Palinuro, Southern Italy. *Cave Diving,*6: 10-13.

Bianchi C.N. & Morri C. 1994. Studio bionomico comparativo di alcune grotte marine sommerse: definizione di una scala di confinamento. *Mem. Ist. ital. Speleol,* Bologna, ser.2, 6: 107-123.

Boury-Esnault N., Harmelin J.G. & Vacelet J. 1993. Les abysses méditerranéennes a vingt mètres de profondeur? *La recherche, 24* (256) suppl.: 848-851.

Cinelli F., Colantoni P., Morri C., Bianchi C.N., Alvisi M., Airoldi L. & Abbiati M. 1994. The biota of the "Grotta Azzurra" of Capo Palinuro (Tyrrhenian Sea): general description and first observations on its trophic organization. *Mem. Ist. ital. Speleol.,* Bologna, ser.2, 6: 95-97.

Fichez R. 1990a. Decrease in allochthonous organic inputs in dark submarine caves, connection with lowering in benthic community richness. *Hydrobiologia,* 207: 61-69.

Fichez R. 1990b. Les pigments chlorophylliens: indices d'oligotrophie dans les grottes sous-marines. *C. R. Acad. Sci. Paris,* 310 (3): 155-161.

Fichez R. 1990c. Absence of redox potential discontinuity in dark submarine cave sediments as evidence of oligotrophic conditions. *Estuar. coast. Shelf Sci.,* 31: 875-881

Fichez R. 199la. Suspended particulate organic matter in a Mediterranean submarine cave. *Mar. Biol.,* 108: 167-174.

Fichez R. 1991b. Benthic oxygen uptake and carbon cycling under aphotic and resource-limiting conditions in a submarine cave. *Mar. Biol.,* 110: 137-143.

Fichez R. 199le. Composition and fate of organic matter in submarine cave sediments; implications for the biogeochemical cycle of organic carbon. *Oceanologica Acta,* 14 (4): 369-377.

Gili J.M., Riera T. & Zabala M. 1986. Physical and biological gradients in a submarine cave on the Western Mediterranean coast (north-east Spain). *Mar. Biol.,* 90: 291-297.

Grasshoff K., Ehrhardt M. & Kremling K. 1983. *Methods of seawater analysis. Second, revised and extended edition.* Verlag Chemie, Weinheim: 1-419.

Harmelin J.G. 1969. Bryozoaires des grottes sous-marines obscures de la region marseillaise. Faunistique et ecologie. *Tethys,* 1 (3): 793-806.

Harmelin J.G. 1980. Etablissement des communautés de substrats durs en milieu obseur. Résultats préliminaires d'une expérience a long terme en Méditerranée. *Mem. Biol. mar. Oceanogr.,* 10 (suppl.): 29-52.

Harmelin J.G. 1997. Diversity of bryozoans in a Mediterranean sublittoral cave with bathyal-like conditions: role of dispersal processes and local factors. *Mar. Ecol. Prog.Ser.,* 153: 139-152.

Harmelin J.G., Vacelet J. & Vasseur P. 1985. Les grottes sous-marines obscures: un milieu extrême et un remarquable biotope refuge. *Tethys,* 11 (3-4): 214-229.

Mattison R.G., Abbiati M., Dando P.R., Fitzsimons M.F., Prati S.M., Southward A.J. & Southward E.C. 1998. Chemoautotrophic microbial mats in submarine caves with hydrothermal sulphidic springs at Capo Palinuro, Italy. *Microb. Ecol.,* 35: 58-71.

Mattison R.G. & Dando P.R. 1994. Composition of microbial mats from a submarine cave with shallow hydrothermal vents at Capo Palinuro, Southern Italy. *Bridge Newslett.,* 7*:* 10-11.

Morri C., Bianchi C.N., Degl'Innocenti F., Diviacco G., Forti S., Maccarone M., Niccolai I., Sgorbini S. & Tucci S. 1994a. Gradienti fisico-chimici e ricoprimento biologico nella Grotta Marina di Bergeggi (Mar Ligure). *Mem. Ist. ital. Speleol.,* Bologna, ser. 2, 6: 85-94.

Moiri C., Cinelli F. & Bianchi C.N. 1994b. Sessile epifauna gigantism in a submarine cave with sulphur springs. *Cave Diving,* 6: 4-9.

Ott J.A. & Svoboda A. 1978. Sea caves as mode! systems for energy flow studies in primary hard bottom communities. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli,* 40 (1976): 477-485

Palmer R.J. 1989. Scientific cave diving: a new research tool. *Progr. Underwater Sci.,* 13: 117-123.

Passelaigue F. & Bourdillon A. 1985. Thérmographie de l'écosystème de quelques grottes sous-marines obscures. *Rapp. Comm. int. Mer Medii.,* 29 (5): 155-156.

Riedl R. 1966. *Biologie der Meereshohlen.* Paul Parey, Hamburg and Berlin: 1-636.

Riedl R. 1978. The role of sea cave investigation in marine sciences. *Pubbl. Staz.* Zool. *Napoli,* 40 (1976): 492-501.

Riera T., Gili J.M. & Zabala M. 1985. Respiration, teneur en oxygène et renouvellement de l'eau dans une grotte sous-marine. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 29 (5): 163-166.

Sarbu S.M., Kane T.C. & Kinkle B.K. 1996. A chemoautotrophically based cave ecosystem. *Science,* 272: 1953-1955.

Sarbu S.M., Vlasceanu L., Popa R., Sheridan P., Kinkle B.K. & Kane T.C. 1994. Microbial mais in a thermomineral sulfurous cave. In: *Microbial mats.* (Stal L.J. & Caumette P. Eds). Springer-Verlag, Berlin, NATO ASI Series, G 35: 45-50.

Sgorbini S., Bianchi C.N., Degl'Innocenti F., Diviacco G., Forti S., Morri C. & Nìccolai. I 1988. Méthodologie d'une étude hydrobiologique dans la grotte marine de Bergeggi (mer Ligure). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,* 31 (2): 119.

Southward A. J., Kennicut M.C. IT, Alcalà-Herrera J., Abbiati M., Airoldi L., Cinelli F., Bianchi C.N., Morri C. & Southward E. 1996. On the biology of submarine caves with sulphur springs: appraisal of $^{13}C/^{12}C$ ratios as a guide to trophic relations. *J. mar. biol. Ass. UK,* 76 (2): 265-285.

Sttiben D., Sedwick P. & Colantoni P. 1997. Geochemistry of submarine warm springs in the limestone cavern of Grotta Azzurra, Capo Palinuro, Italy: evidence for mixing-zone dolomitisation. *Chem. Geol.,* 131: 113-125.

Vacelet J., Boury-Esnault N. & Harmelin J.G. 1994. Hexactinellid Cave, a unique deep-sea habitat in the scuba zone. *Deep-Sea Research I,* 41 (7): 965-973.

Zabala M., Gili J.M., Riera T. & Huelin M.F. 1984. Estudio de los factores fisicos y biológicos de una cueva submarina del litoral catalàn. I: Metodología y primeros resultados. Acta 4° Simp. ibér. Estudios Bentos mar., 1: 109-121.

Zabala M., Riera T., Gili J.M., Barangé M., Lobo A. & Penuelas J. 1989. Water flow, trophic depletion, and benthic macrofauna impoverishment in a submarine cave from the Western Mediterranean. *PSZN I: Mar. Ecol.,* 10 (3): 271-287.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 303 - 311.

IDENTIFICAZIONE DELLE VOCALIZZAZIONI DEI CETACEI ATTRAVERSO RETI NEURALI ARTIFICIALI

Malvina SILVESTRI[1], Enrico DE MARINIS[2]

[1]Istituto di Oceanologia, Istituto Universitario Navale, Napoli
[2]Consorzio Flegreo per le Attività Subacquee, Napoli

ABSTRACT

The object of this work is the identification of cetacean vocalisations through Artificial Neuronal Network (ANN). ANN simulates the operation of the human nervous System. For such study, real vocalisations of killer whale have been analysed and a Back Propagation Network (BPN) has been used. From obtained results it has been noticed that the network has answered in a positive manner to the identification of the sounds, committing minimum error in its recognition also in the presence of strong interfering noises, caused by the noise pollution in the marine environment.

It is possible to think as feasible a System where offshore hydrophones record the sounds and transmit the signals ashore, where the BPN provides a real time classification.

Furthermore a comparison with conventional methods has been made.

1. INTRODUZIONE

L'esigenza di vivere in un ambiente dove la visione è limitata a differenza di quella acustica, ha fatto sì che i cetacei, grandi dominatori del mare, sviluppassero in modo eccellente l'udito ottenendo così informazioni dalla riflessione, da parte degli oggetti presenti nell'ambiente, delle onde sonore, in genere ad alta frequenza, da essi stessi prodotte (ecolocalizzazione).

Lo scopo di questo studio è stato quello di analizzare la fattibilità di una concreta alternativa alle attuali metodologie di riconoscimento adottate per questi mammiferi, consentendo, oltre ad un aumento della capacità di riconoscimento, anche un notevole risparmio di tempo, denaro, logistica e personale esperto.

E' per questo che si è pensato di adoperare una rete neuronale, la Back Propagation Network (BPN), struttura di calcolo che simula il funzionamento del sistema nervoso, le cui caratteristiche sono evidenziate nei paragrafi successivi.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Tipologia del segnale

Le vocalizzazioni dell'orca, sulle quali si è lavorato, sono state registrate nel 1990 da un V.D.S. (Varing Depth Sonar), dotato di un idrofono omnidirezionale, di una nave americana, nell'Oceano Pacifico settentrionale. In particolare il V.D.S., immerso ad una profondità di 20 m dalla superficie del mare, ha rilevato un'orca distante 3 km.

I suoni registrati non contengono alcuna informazione riguardanti sesso, età, dimensioni dell'emettitore o del suo comportamento prima, durante e dopo l'emissione delle vocalizzazioni.

Attraverso l'analisi spettrografica, la quale ha permesso la visualizzazione e la stima delle frequenze istantanee dell'emissione acustica, sono stati individuati due tipi di vocalizzazioni, appartenenti ad un unico individuo di Orca, classificate come Tipo A e Tipo B, riportate in figura 1 le quali sono state utilizzate per il test.

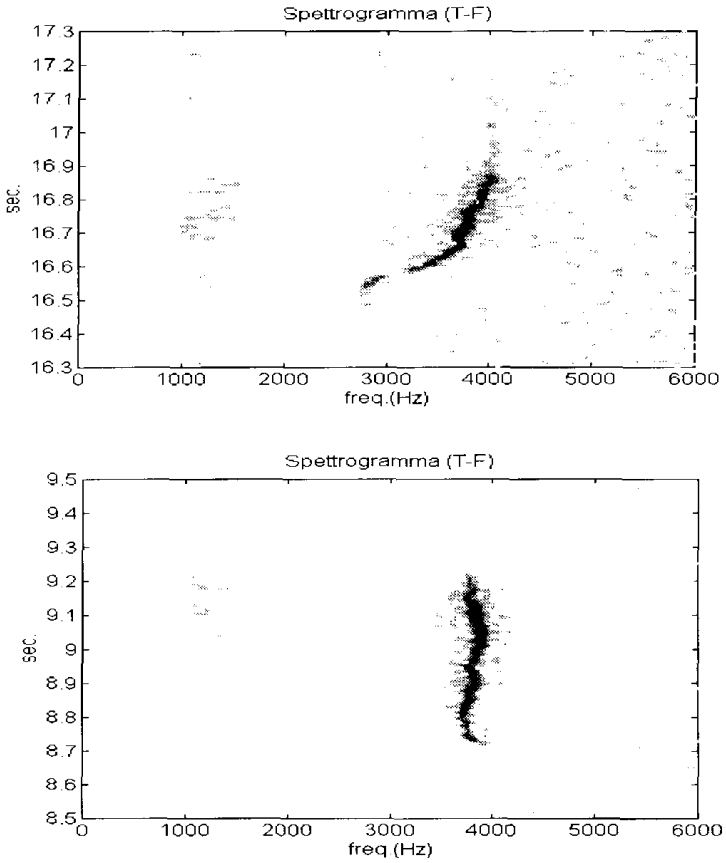


Fig. 1 - Vocalizzazioni dell'orca Tipo A (sopra) e Tipo B (sotto)

2.2 Back Propagation Network: architettura ed applicazione

L'architettura della BPN è costituita da uno strato di ingresso con otto neuroni in quanto tante sono le componenti scelte che rappresentano il segnale (in questo lavoro sono state considerati la frequenza iniziale, la durata e i sei coefficienti della curva di regressione che approssima l'andamento del segnale), uno strati intermedi con sei neuroni e uno strato di uscita con due neuroni in quanto sono le vocalizzazioni da identificare sono due.

La funzione del neurone in realtà può essere vista come una somma pesata dei vari input in ingresso. L'espressione matematica che lo rappresenta è la seguente:

$$y_k = \phi\left(\sum_{j=0}^{p} w_{kj} x_j\right)$$

dove w_{kj}: rappresentano dei pesi, xj i segnali in ingresso e Φ rappresenta una funzione non lineare (tipicamente una funzione sigmoidale).

La fase più importante per la BNP è il suo apprendimento, infatti un cattivo addestramento comporta un cattivo funzionamento della rete stessa. Questo processo, mostrato nella figura 2, è avvenuto fornendo in ingresso un numero elevato di esempi (Training set), attraverso vocalizzazioni sintetiche, create in base a parametri ricavati dall'analisi statistica delle vocalizzazioni reali e quindi aventi un elevato grado di somiglianza con quelle reali. La scelta di considerare queste vocalizzazioni sintetiche è dovuta fondamentalmente alla difficoltà di registrare migliaia di vocalizzazioni reali permettendo, così, di lavorare anche quando si ha un limitato numero di dati reali.

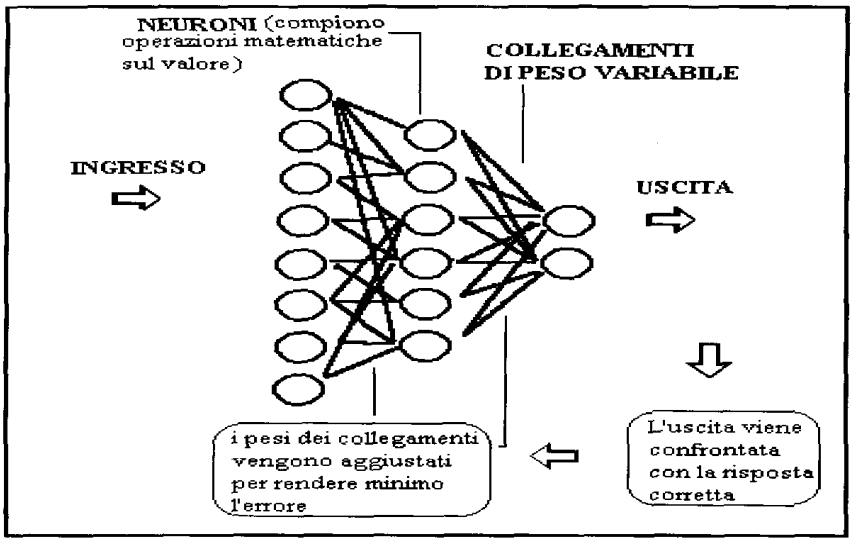


Fig. 2 - Apprendimento della rete

Queste vocalizzazioni hanno permesso alla rete di creare la propria conoscenza grazie alla presenza dei pesi i quali partendo da un valore casuale, fissato dall'operatore, poco per volta si sono modificati automaticamente fino a quando l'errore tra l'uscita della rete e quella desiderata è risultato minimo.

La risposta della rete alle vocalizzazioni fornitele per il riconoscimento è mostrata in figura 3.

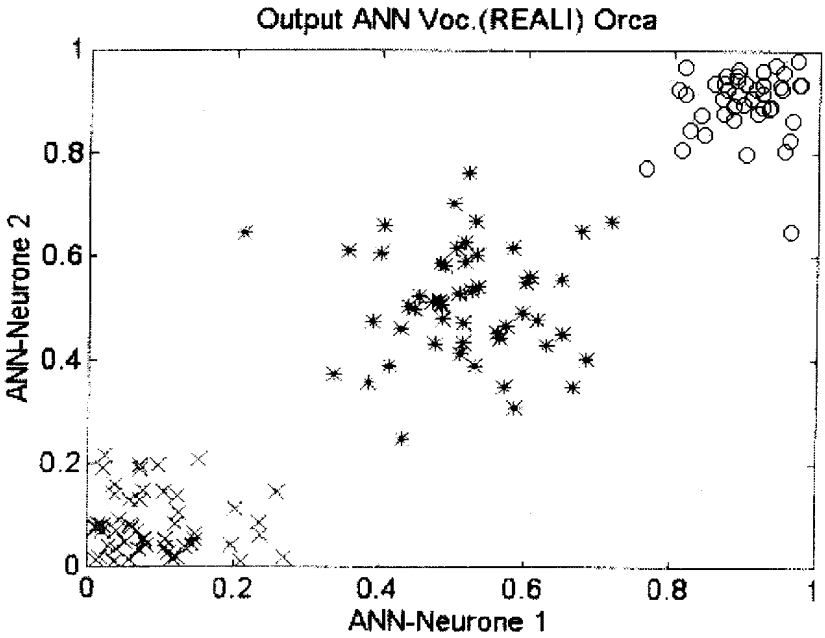


Fig. 3 - Risposte della rete per segnali reali

Dai risultati ottenuti si è notato che la rete ha risposto in maniera positiva alla classificazione delle due vocalizzazioni, commettendo un errore minimo nel riconoscimento anche in presenza di forti rumori interferenti, legati all'inquinamento acustico dell'ambiente marino.

2.3 Confronto tra metodi convenzionali e rete neuronale

I metodi convenzionali consistono nell'operare un confronto tra una parte di segnale, considerato come campione, c(t) ed il segnale stesso s(t). Il confronto è operato attraverso la funzione di mutua correlazione fra il campione di vocalizzazione c(t) e l'intera sequenza di segnale ossia:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} c(\tau)s(t-\tau)d\tau$$

I grafici ricavati, utilizzando questi metodi, sono mostrati nelle figure che seguono dalle quali si è potuto classificare le vocalizzazioni dell'orca. In particolare nei grafici, sull'asse delle ascisse è riportato il tempo di registrazione, sulle ordinate il valore (non normalizzato) della mutua correlazione. Correlando il segnale campione c(t) di Tipo A con tutta la registrazione, si individueranno, in linea di principio, le sole vocalizzazioni di Tipo A; essendo i due segnali correlati, infatti, si avrà un valore di mutua correlazione molto alto (nel grafico si ha la presenza di un picco, figura 4). Se la vocalizzazione confrontata con c(t) è di tipo B, viene mostrato un picco di mutua correlazione relativamente più piccolo di quella del tipo A (figura 5), mentre in assenza di segnale, nel grafico vi sarà solo rumore di fondo, figura 6.

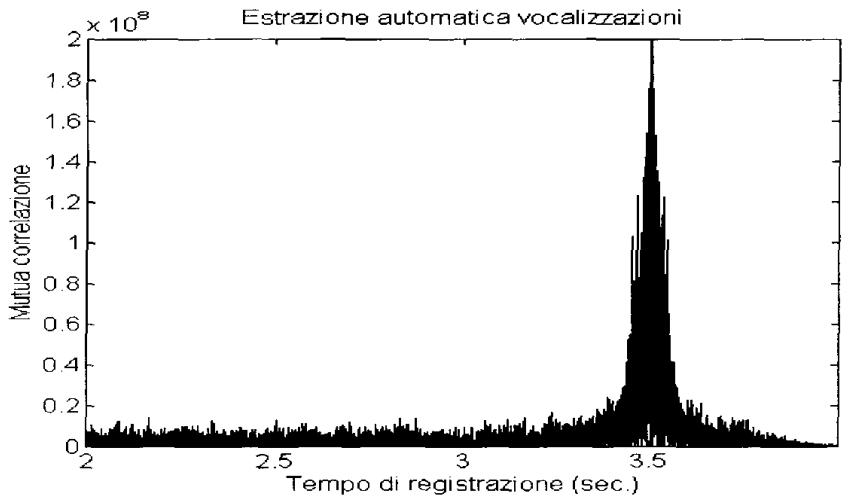


Fig. 4 - Estrazioni automatiche di vocalizzazioni Tipo A

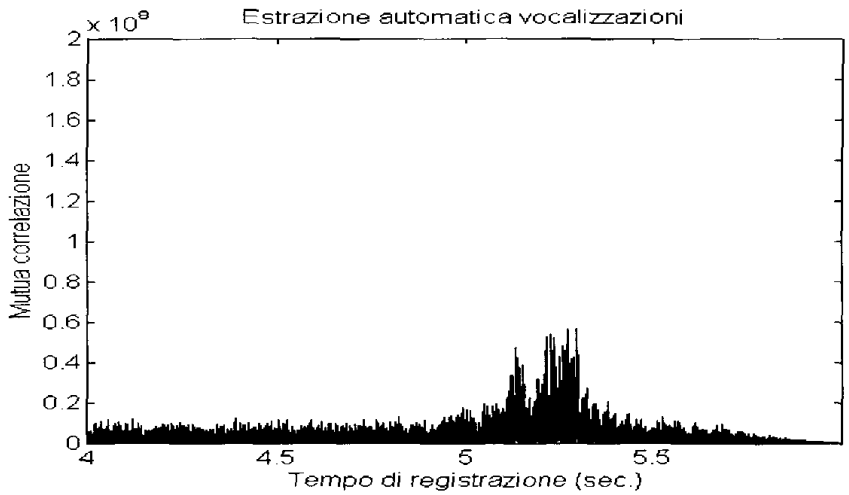


Fig. 5 - Estrazioni automatiche di vocalizzazioni Tipo B

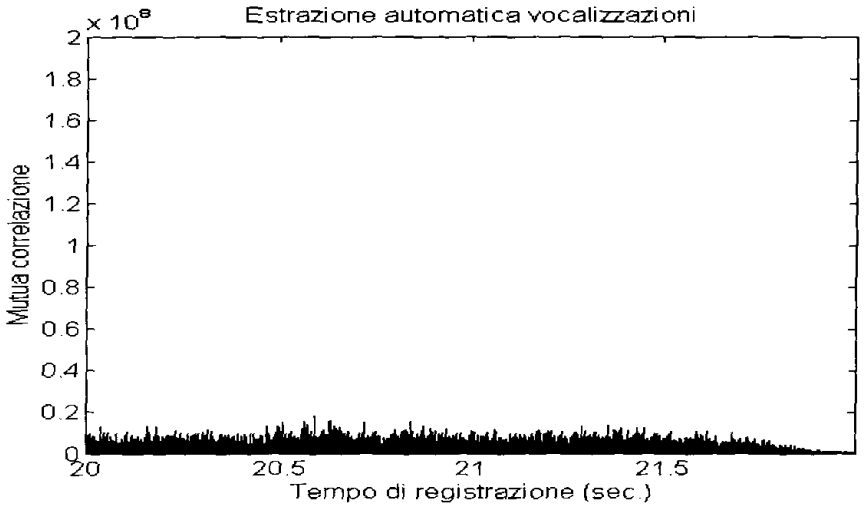


Fig. 6 - Estrazione automatica in assenza di segnale

Questo metodo, però, presenta un inconveniente: non sempre è possibile individuare, dal valore delle mutue correlazioni, il tipo di vocalizzazione. Infatti nella figura 7 si nota un valore di mutua correlazione elevato, il che farebbe pensare alla presenza di una vocalizzazione di tipo A. In realtà, nell'istante 8.7 sec. si è in presenza di una vocalizzazione di tipo B, come mostrato nello spettrogramma di figura 8.

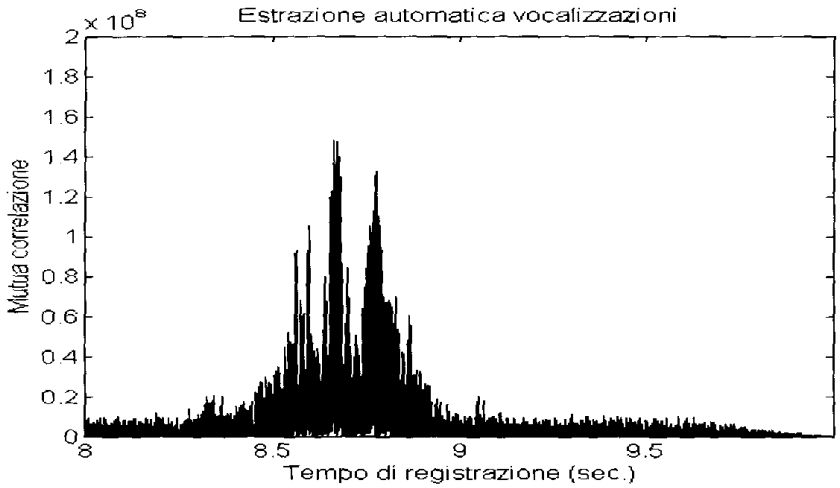


Fig. 7 - Estrazione automatica delle vocalizzazioni nell'istante 8.7 sec.

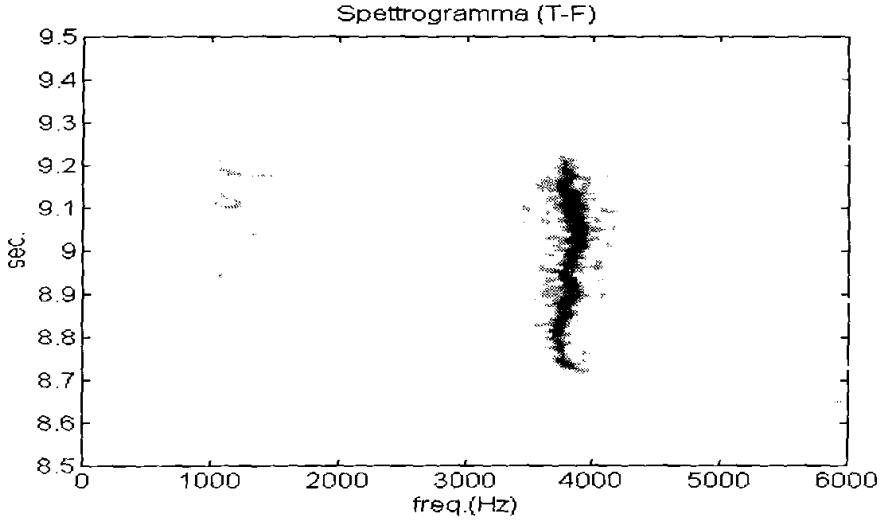


Fig. 8 - Spettrogramma della vocalizzazione Tipo B nell'istante 8.7 sec.

Allo stesso tempo il grafico in figura 9 indicherebbe la presenza di una vocalizzazione di Tipo B, essendo il segnale campione c(t) non correlato a quello individuato all'istante 16.5 sec. Dallo spettrogramma riportato in figura 10 si può notare invece una vocalizzazione di Tipo A.

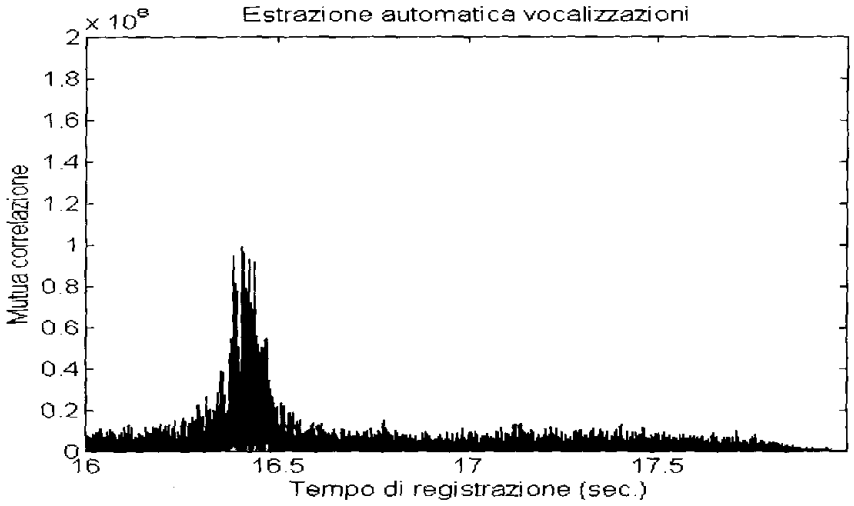


Fig. 9 - Estrazione automatica delle vocalizzazioni all'istante 16.5 sec

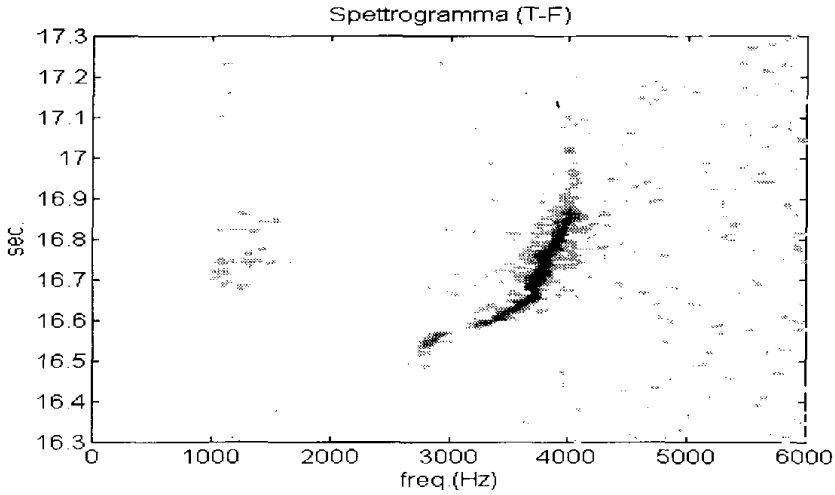


Fig. 10 - Spettrogramma relativo alla vocalizzazione Tipo A all'istante 16.5 sec

E' stato riportato il grafico che mostra la capacità del metodo convenzionale di separare le vocalizzazioni dell'orca (Tipo A e B). In particolare, dalla figura 11 si vede che, considerate tutte le vocalizzazioni reali di Tipo A (rappresentate dal simbolo o) e di Tipo B (simbolo x), c'è una discreta separazione; tuttavia, vi sono alcune emissioni di Tipo A che vengono confuse con quelle di Tipo B e viceversa.

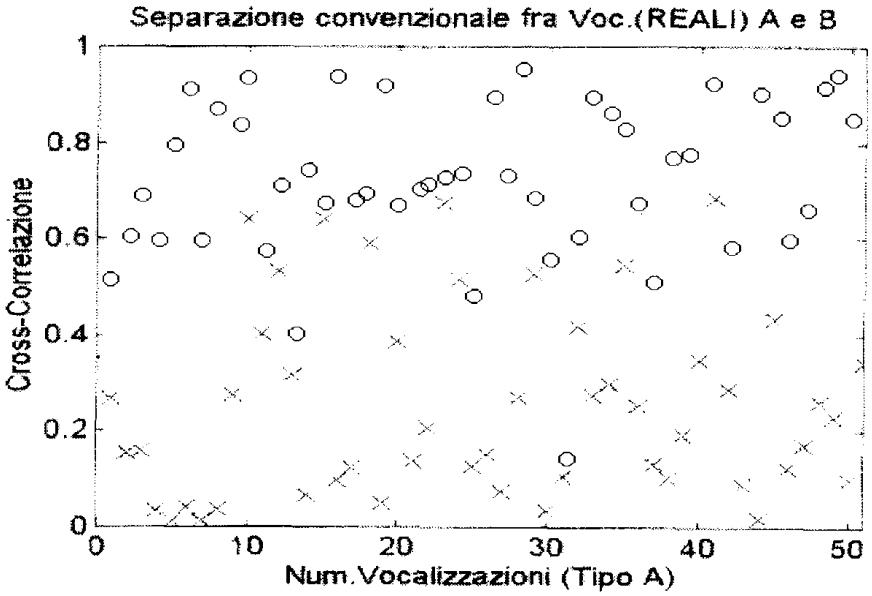


Fig. 11 - Separazione ad opera del metodo convenzionale fra le vocalizzazioni reali A e B

3. CONCLUSIONI

E' ipotizzabile un posizionamento di idrofoni, nelle aree di mare frequentate dagli animali, che provvedano alla registrazione dei suoni e alla trasmissione a terra dei segnali che la rete provvederebbe ad identificare, fornendo informazioni in tempo reale. Inoltre limitatamente ai casi considerati, si ha una superiorità della rete rispetto ai metodi convenzionali.

E' opportuno, però, considerare che la tecnologia delle reti neuronali, seppure uscita dalla fase prototipica, non è ancora definitamente consolidata e sono numerose le scelte arbitrarie attinenti a questo tipo di approccio

Tuttavia la possibilità di utilizzare una rete neuronale in applicazioni dove sia necessario prendere decisioni in breve tempo, ha contribuito notevolmente allo studio di queste strutture di calcolo e al loro impiego in qualsiasi campo.

BIBLIOGRAFIA

Cammarata S. 1989. Introduzione al calcolo neuronale. *Sistemi & Impresa,* N° 302: 688-697.

Chabot D. 1988. A Quantitative Technique To Compare and Classify Humpback Whale (*Megaptera novaengliae*) Sounds. *Ethology,* 77: 89-102.

Clark C.W. 1982. The acoustic repertoire of the southern right whale. A quantitative analysis. *Acoustic Behavior of Animals:* 1060-1071.

Colla A.M. 1993. Soluzioni neuronali per problemi di pattern recognition. *Automazione e Strumentazione*:79-87.

Fristup K.M. & Watkins W.A. 1993. Marine Animai Sound Classification. *Woods Hole Oceanographic Institution.*

Gorman P. & Sejnowski T.J. 1988. Learned Classification of Sonar Target Using a Massively Parallel Network. *IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing,* vol. 36, 7: 1135-1140.

Yuhas B.P., Goldstein Jr M.H., Sejnowski T.J. & Jenkins R.E. 1990. Neural Network Models of Sensory. Integration for Improved Vowel Recognition. *Proceedings of the IEEE,* vol.78, 10: 1658-1668.

Walker R. & Favata F. 1988. Neuroinformatica. *Informatica Oggi,* 45: 66-78.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 313 - 322.

IL METODO ABC PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'AMBIENTE MARINO IN DUE DIVERSI MOMENTI STAGIONALI

Romano AMBROGI [1], Patrizio FONTANA [1], Joxe Mikel GARMENDIA [2], Irene SALA [3]

[1] ENEL S.p.A., Centro Ricerca Ambiente e Materiali, Milano
[2] Dipartimento Biologia Animale, Università di Santiago de Compostela
[3] Bioeco, Milano

ABSTRACT

The Abundance-Biomass Comparison (ABC) method (Warwick, 1986) was applied to the macrobenthos in a coastal area off the Po river Delta during four seasonal samplings, in winter (February 1989 and January 1993) and in summer (July 1989 and August 1992).

The results suggest that the ABC method is useful to give an immediate display and synthetic evaluation of the environmental marine quality, but it should be integrated with the knowledge of species of benthos community and their dynamics, as learned from long-term studies.

1. INTRODUZIONE

La crescente pressione antropica sulle coste determina la necessità di utilizzare, anche in ambiente marino, indici biotici basati sulla struttura della comunità, già ampiamente utilizzati ed accettati per la ricerca ecologica applicata alle acque interne. Tenendo conto che alcuni autori hanno dimostrato un chiaro rapporto tra biomassa bentonica ed inquinamento, quando quest'ultimo è dovuto all'arricchimento organico (Pearson & Rosenberg, 1978; Josefson, 1990), si è ritenuto opportuno utilizzare, per la valutazione del disturbo ambientale sulla struttura della comunità macrobentonica, il metodo ABC (Abundance-Biomass Comparison), proposto da Warwick nel 1986, che prevede l'integrazione di dati di abbondanza numerica e di biomassa. Tale metodo si basa sul presupposto che in aree stabili venga favorita la presenza di specie con una "strategia di tipo K" con ciclo vitale lungo, grandi dimensioni corporee degli individui adulti, raramente dominanti numericamente, ma dominanti in termini di biomassa. Al contrario, nelle comunità disturbate viene favorita la presenza di specie con "strategia vitale di tipo r", dette anche opportuniste, caratterizzate da un ciclo vitale breve e

piccola taglia corporea che risultano dominanti numericamente, ma non in termini di biomassa (MacArthur & Wilson, 1967; Pianka, 1970).

Molte sono state le applicazioni di tale metodo per la valutazione del disturbo di tipo naturale e antropico dovuto ad agenti fisici, chimici e biologici (Warwick *et al.,* 1987). Generalmente si è riscontrata una buona corrispondenza tra le indicazioni fornite da tale metodo e le effettive condizioni di disturbo (Ritz *et al.,* 1989; Corazza & Ceccherelli, 1990; McManus & Pauly, 1990, Meire & Dereu, 1990). L'applicabilità di tale metodo in ambienti di tipo estuariale, caratterizzati da ampie fluttuazioni di tutti i parametri fisico-chimici, fornisce risultati apprezzabili qualora si disponga di ben fondate informazioni, accumulate nel tempo, sulle peculiari caratteristiche delle biocenosi presenti (Beukema, 1988; Craeymeersch, 1991; Agard *et al.,* 1993; Sei *et al.,* 1993; Warwick & Clarke, 1993 e 1994).

Nel presente lavoro il metodo è stato applicato, in due diversi momenti stagionali, sulle comunità macrobentoniche di fondo mobile, in una zona costiera antistante il Delta del Po. La ricerca si inserisce in un più ampio contesto di indagini multidisciplinari svolte a partire dal 1979 in relazione alla costruzione e al funzionamento della Centrale termoelettrica di Porto Tolle (Rovigo) (Ambrogi *et al.,* 1990; Parisi *et al.,* 1990; Ambrogi *et al.,* 1994). Obiettivo del presente lavoro è dunque la descrizione, a distanza di tre anni, di variazioni nella struttura delle comunità macrobentoniche che riflettono una situazione ambientale di progressivo aumento del carico eutrofizzante veicolato dal Po verso l'Adriatico e l'aumentata frequenza di fenomeni di crisi distrofiche (Provini *et al.,* 1992).

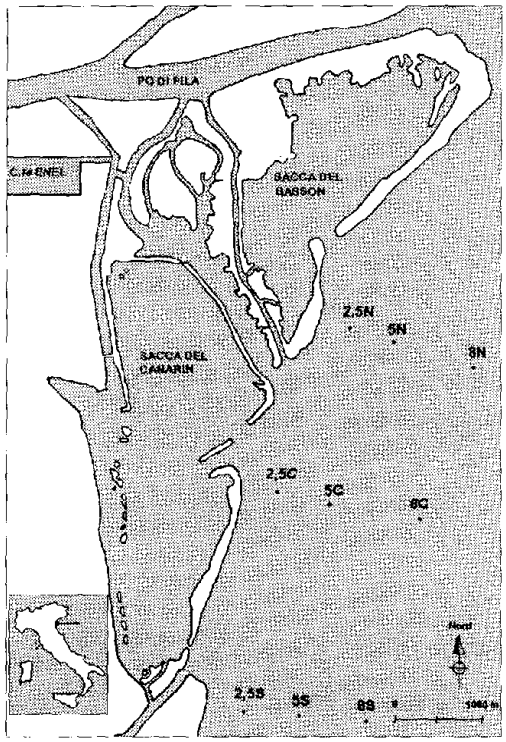


Fig. 1 - Zona di campionamento ed ubicazione delle stazioni di prelievo.

2. MATERIALI E METODI

I campionamenti sono stati effettuati nella zona di mare antistante il Delta del Po durante 4 campagne di cui due invernali, svolte nel febbraio 1989 e gennaio 1993, e due estive, svolte nel luglio 1989 e agosto 1992.

Sono stati prelevati mediante benna Van Veen avente una superficie di previevo pari a 0,1 m^2 due repliche lungo tre transetti (Fig. 1) denominati Nord, Centro e Sud alle profondità di -2,5 -5 e -8 m.

Il materiale raccolto è stato setacciato su vaglio avente maglie quadrate di 1 mm di lato e fissato con formalina al 10%. Sono state determinate e conteggiate tutte le specie presenti e successivamente è stata misurata per ogni specie la biomassa espressa come peso secco senza ceneri (Crisp, 1984). E' stato applicato il metodo ABC (Warwick, 1986) costruendo per ogni stazione le curve di K-dominanza desunte dalle percentuali cumulative dell'abbondanza e della biomassa. Nel caso di ambiente non perturbato la curva della biomassa è sopra a quella dell'abbondanza, con moderata perturbazione le due curve si intersecano in uno o più punti e in presenza di un forte disturbo la curva della biomassa risulta più bassa rispetto a quella dell'abbondanza.

E' stato calcolato l'indice SEP (Shannon-Wiener Evenness Proportion) che è dato dal rapporto tra l'equitabilità calcolata sulla biomassa e sull'abbondanza. Questo indice rappresenta numericamente un'espressione delle curve ABC (McManus & Pauly, 1990).

3. RISULTATI

L'esame delle curve ABC è stato condotto distinguendo le stazioni di prelievo secondo la loro profondità, in relazione alle diverse comunità che le caratterizzano (Am-

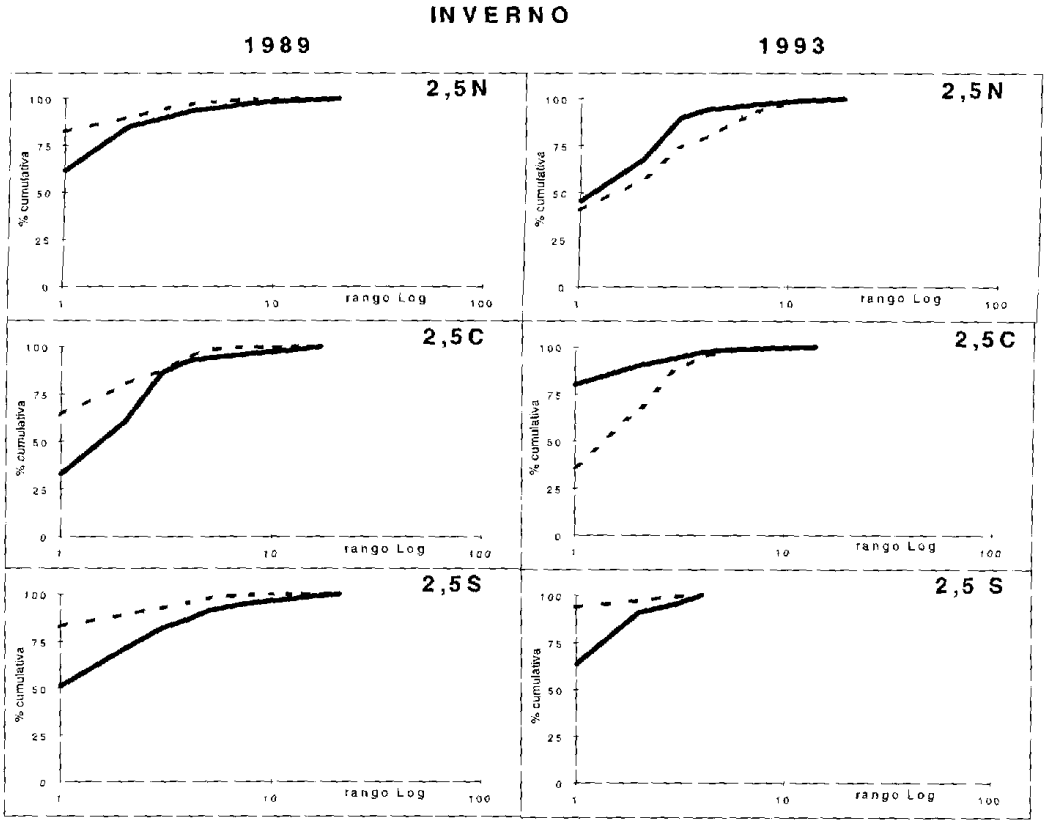


Fig. 2a - Curve di K-dominanza nelle stazioni a 2,5 m di profondità in inverno
(▬ abbondanza ---- biomassa).

brogi *et al.,* 1990). Differenze tra stazioni alla stessa profondità possono essere dovute a situazioni locali e transitorie che hanno minore importanza nella valutazione dei risul tati.

2,5 metri

Nell'inverno 1993 rispetto al 1989 si nota (Fig. 2a) uno slittamento della curva delle biomasse sotto quella delle abbondanze. Questa situazione è determinata dalla prevalenza numerica di specie di piccola taglia come il polichete *Prionospio caspersi* e dalla mancanza di individui di grande taglia come il bivalve *Mactra stultorum.* La stazione 2,5S non è significativa ai fini dell'applicazione del metodo a causa degli scarsi individui rinvenuti nell'inverno 1993.

Nell'estate 1989 (Fig. 2b) sia la percentuale dell'abbondanza che della biomassa partono da valori elevati essendo il popolamento costituito quasi esclusivamente dal piccolo bivalve *Lentidium mediterraneum.* Questa biocenosi estiva a *L. mediterraneum* è tipica di questa zona come descritto in studi pregressi (Ambrogi *et al.,* 1990). Nell'estate del 1992 la popolazione di *L. mediterraneum* ha abbondanze e biomasse drasticamente ridotte; predomina invece numericamente il polichete *P. caspersi,* ma non in termini di biomassa, quest'ultima risulta quindi equiripartita su diverse specie.

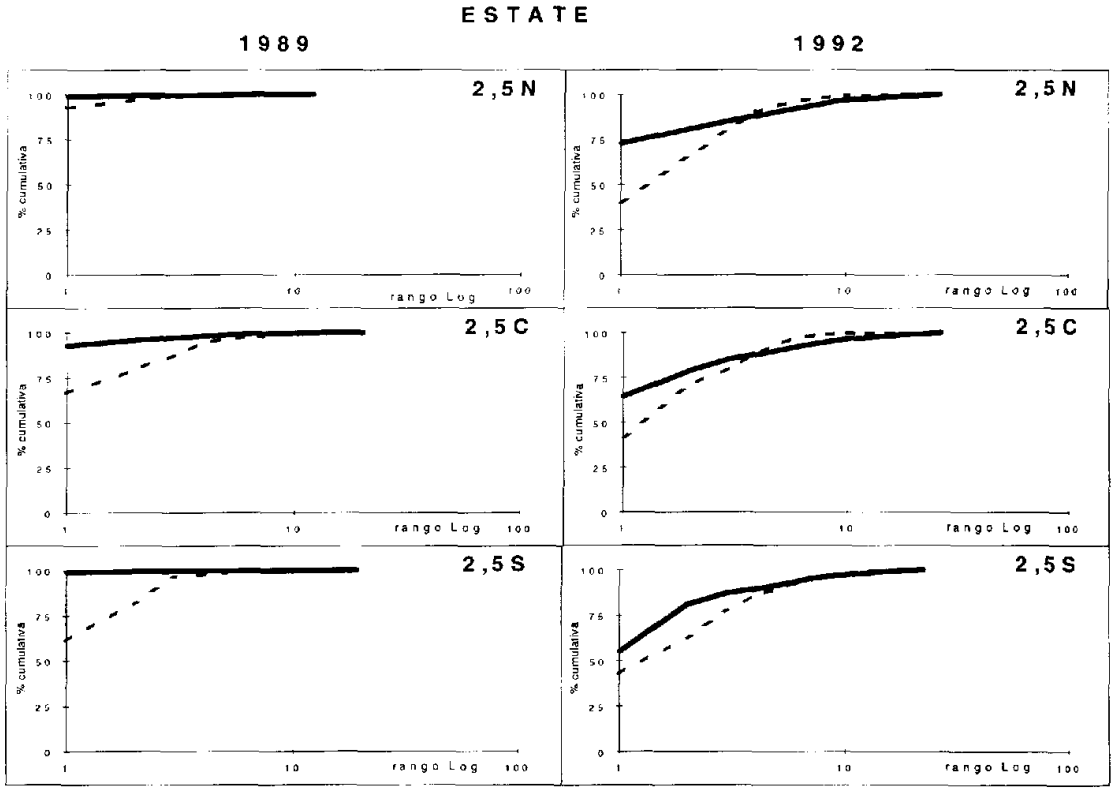


Fig. 2b - Curve di K-dominanza nelle stazioni a 2,5 m di profondità in estate
(▬ abbondanza ---- biomassa).

Abbondanza e biomassa totali (Tab. 1) in inverno si mantengono su livelli complessivamente simili nei due anni, mentre l'estate 1989 risulta essere sia numerica mente che in termini di biomassa più abbondante rispetto all'estate 1992, fatta ecce zione per la stazione 2,5C dove le biomasse si mantengono su valori pressoché uguali.

Tab. 1 - Valori di densità (ind m-²) e biomassa totale (g m-²) rilevati durante i prelievi invernali (1989-93) ed estivi (1989-93) nelle 9 stazioni.

	INVERNO				ESTATE			
	1989	1993	1989	1993	1989	1992	1989	1992
	ind m-²	ind m-²	g m-²	g m-²	ind m-²	ind m-²	g m-²	g m-²
2,5N	4545	3105	15,05	16,92	168950	4675	29,09	15,01
2,5C	1265	4855	3,74	3,89	33815	3955	3,98	5,89
2,5S	2360	110	10,31	0,03	306395	6510	16,29	2,64
5N	3615	4795	9,21	2,50	5285	4985	2,88	5,89
5C	4030	4070	12,54	7,32	2950	7350	0,58	8,36
5S	2075	1430	7,42	0,86	5260	4740	9,00	17.89
8N	11625	315	26,71	0,51	3300	8450	24,11	17,20
8C	2440	705	13,43	9,99	3520	11360	7,88	25,69
8S	5520	3180	15,69	9,08	9270	6695	33,43	17,39

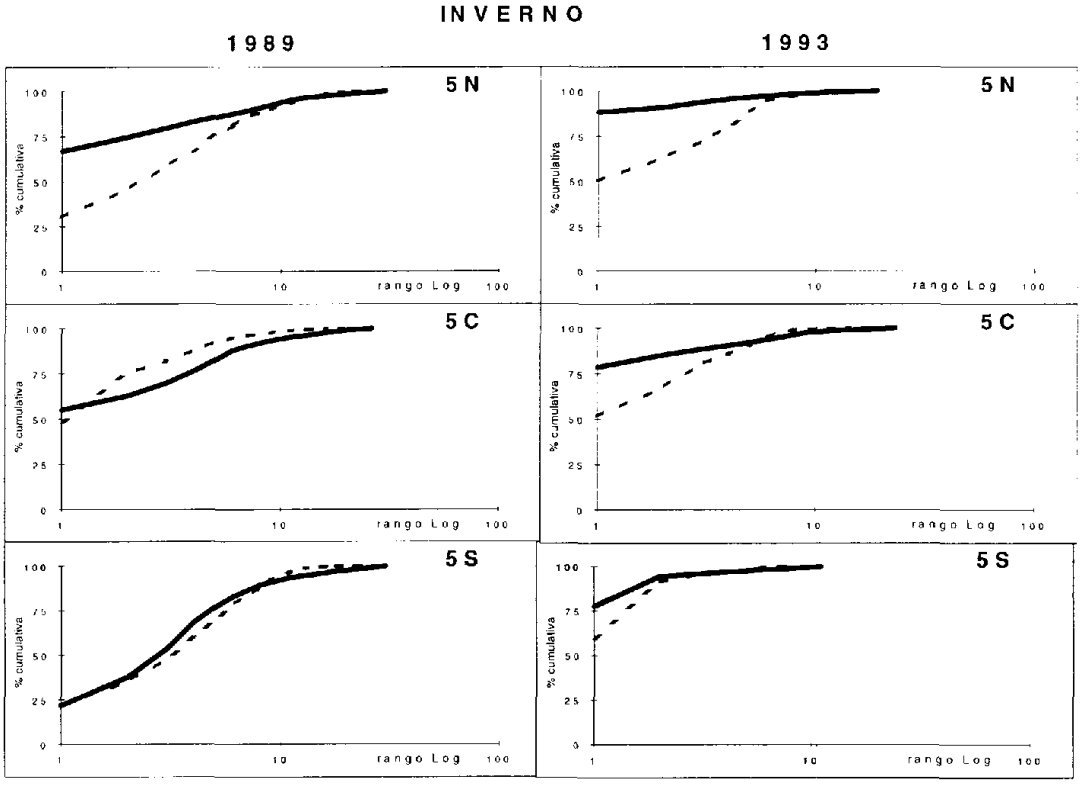


Fig. 3a - Curve di K-dominanza nelle stazioni a 5 m di profondità in inverno
(▬ abbondanza ---- biomassa).

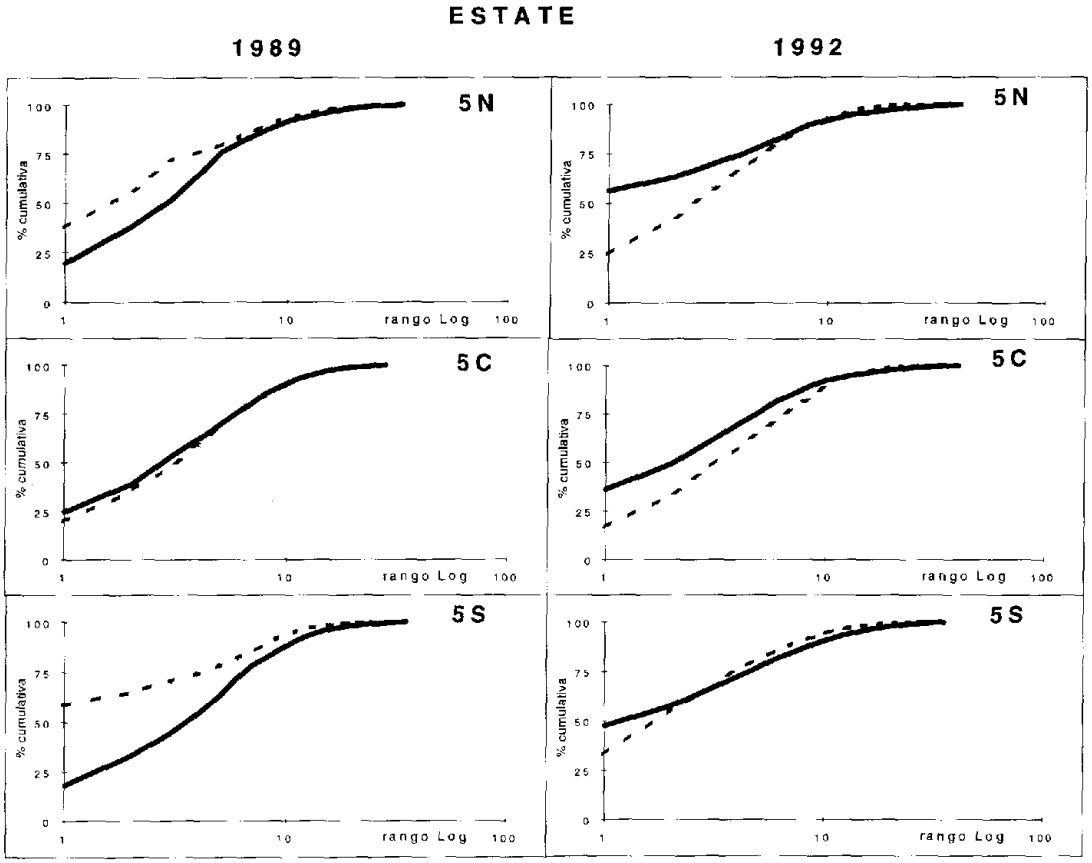


Fig. 3b - Curve di K-dominanza nelle stazioni a 5 m di profondità in estate
(▬ abbondanza ---- biomassa).

5 metri

La curva dell'abbondanza sovrasta quella della biomassa o la interseca già nei grafici dell'inverno 1989 (Fig. 3a e 3b). La curva dell'abbondanza si innalza ulteriormente nel 1993 per un aumento percentuale di *P. caspersi.* Va osservato che la biomassa totale diminuisce nettamente (Tab. 1).

Nell'estate 1992 si nota ancora un innalzamento della curva dell'abbondanza, sempre dovuta a P. *caspersi;* la biomassa totale invece aumenta, conservando però una ripartizione abbastanza omogenea delle percentuali fra diverse specie di Molluschi e Policheti.

8 metri

Le curve si sovrappongono e si intersecano sia nell'inverno 1989 che nel 1993 (Fig. 4a e 4b). Va segnalato che in generale i valori di abbondanza e biomassa totali sono superiori nel 1989, grazie alla dominanza del polichete *Owenia fusiformis,* mentre nel 1993 predomina numericamente *P. caspersi* e le percentuali di biomassa sono ripartite tra varie specie occasionali. L'abbondanza e la biomassa totali sono in netto calo nel 1993 rispetto al 1989 (Tab. 1)

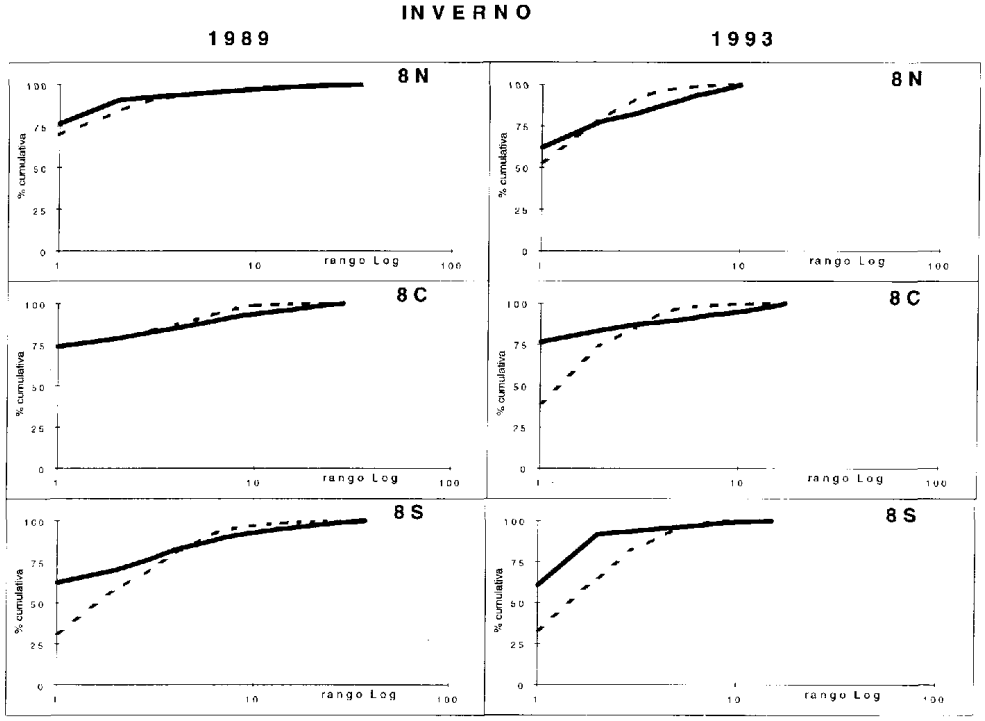


Fig. 4a - Curve di K-dominanza nelle stazioni a 8 m di profondità in inverno
(▬ abbondanza ---- biomassa).

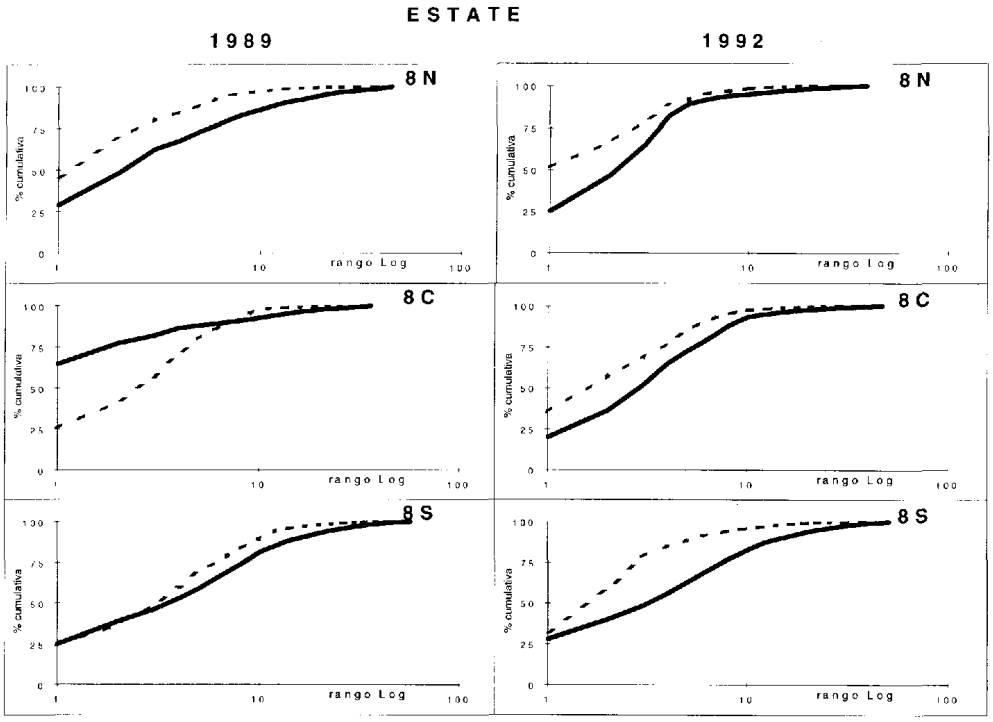


Fig. 4b - Curve di K-dominanza nelle stazioni a 8 m di profondità in estate
(▬ abbondanza ---- biomassa).

In estate le curve della biomassa sovrastano generalmente quelle dell'abbondanza; la stazione 8C del 1989, in cui ciò non avviene, presenta una elevata percentuale numerica del piccolo anfipode *Ampelisca* sp. L'abbondanza e la biomassa totale risultano sempre elevate.

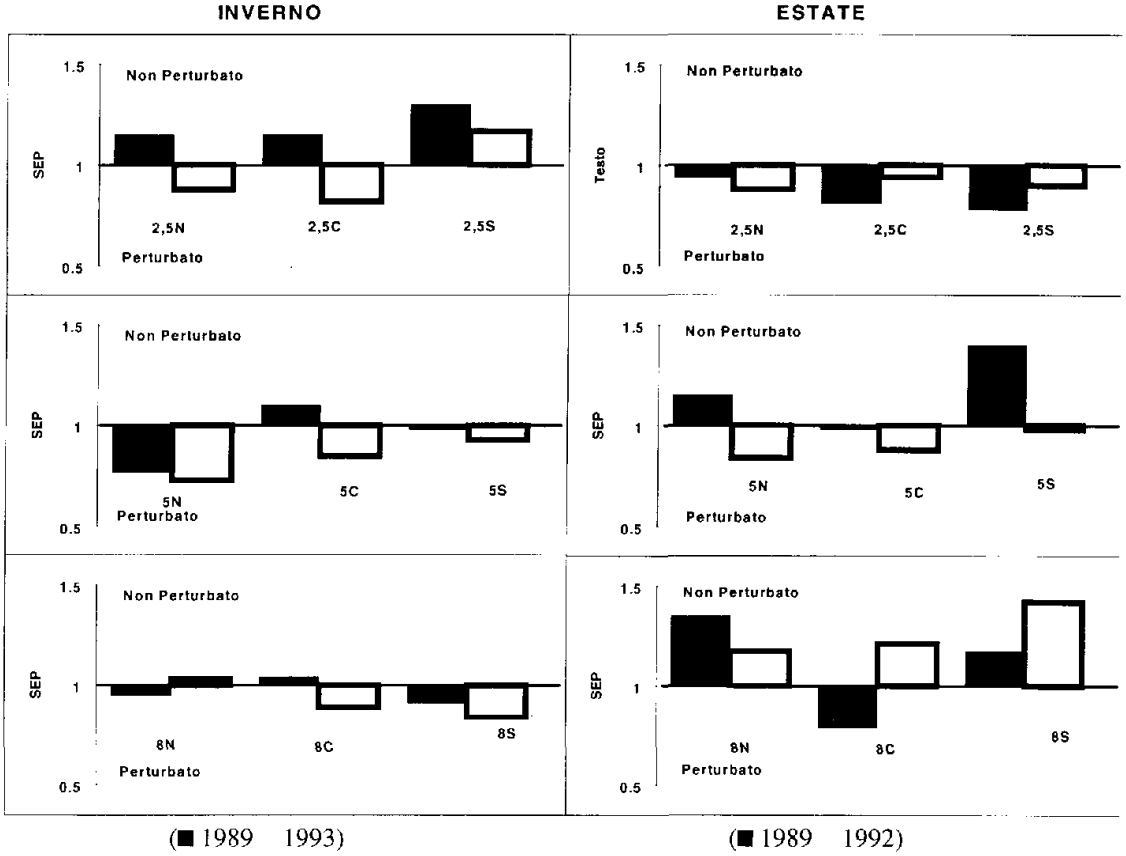


Fig. 5 - Indice SEP (Shannon-Wiener Evennes Proportion) invernale ed estivo nelle nove stazioni.

Le considerazioni svolte sopra sulla struttura delle curve ABC, possono essere sintetizzate grazie al valore numerico dell'indice SEP, che è stato proposto (McManus & Pauly, 1990) per esprimere con un unico valore numerico l'informazione derivante dalla comparazione tra abbondanza e dominanza.

In figura 5 i valori positivi o negativi dell'indice sono presentati mediante diagrammi a barre, corrispondendo rispettivamente ad una situazione genericamente "non perturbata" o "perturbata".

4. CONCLUSIONI

La descrizione della comunità bentonica mediante le curve ABC e l'indice SEP che ne deriva può essere utilizzata per trarre un giudizio di massima sull'evoluzione

della qualità dell'ambiente marino costiero nella zona antistante il delta tra il 1989 e il 1993. A questo scopo occorre però considerare in modo complementare anche le conoscenze "storiche" derivanti dalla serie di lungo periodo; i due diversi momenti stagionali; la biomassa e l'abbondanza totale e le specie più rappresentative che influenzano la struttura della comunità. Per esempio, alla batimetria di 2,5 m, la condizione "normale" deducibile dalla serie storica fino al 1989 è caratterizzata dalla predominanza estiva di *L. mediterraneum;* di conseguenza l'indicazione data dalle curve ABC corrispondenti al 1989 (comunità "perturbata") deve essere considerata come una espressione stagionale della condizione estuariale della zona indagata. La drastica riduzione della specie dominante nell'estate 1993 comporta una modifica delle curve ABC che non indica un miglioramento delle condizioni ambientali. Invece alla profondità di 5 m si può ritenere che l'indicazione di "aumento della perturbazione" dal 1989 al 1993 corrisponda ad un'effettiva semplificazione strutturale della comunità, che si manifesta sia in inverno che in estate con un aumento della specie opportunista *P. caspersi.* Un certo miglioramento sembra essere suggerito dalle curve estive relative agli 8 m, dove si assiste ad una migliore equipartizione delle abbondanze con valori di densità e biomassa totali elevati.

In conclusione, il confronto operato a distanza di alcuni anni ha permesso di mettere in luce alcuni elementi di involuzione della comunità bentonica nelle stazioni più sottocosta, mentre la comunità situata su fondale di 8 m appare in ripresa limitatamente alla stagione estiva.

L'utilizzo del metodo ABC permette di evidenziare con maggiore chiarezza alcuni mutamenti strutturali, anche se non si può demandare alla sola lettura dei valori desunti dal metodo il giudizio di qualità dell'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

Agard J.B.R., Gobin J. & Warwick R.M. 1993. Analysis of marine macrobenthic community structure in relation to pollution, natural oil seepage and seasonal disturbance in a tropical environment (Trinidad, West Indies). *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 92: 233-243.

Ambrogi R., Bedulli D. & Zurlini G. 1990. Spatial and temperai 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: Marine Ecology,* 11: 25-41.

Ambrogi R., Fontana P. & Sala I. 1994. Evoluzione a lungo termine del macrobenthos marino di fondo mobile davanti al delta del Po. *Biol. Mar. Medii.,* 1(1): 179-188.

Beukema, J.J. 1988. An evaluation of the ABC method (abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on the tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Biol.,* 99: 425-433.

Corazza C. & Ceccherelli V.U. 1990. Un nuovo approccio alla valutazione degli effetti di disturbo sulle comunità macrobentoniche lagunari. *Atti Conv. AIRP-SITE "Fiume Po":* 119-122.

Craeymeersch J.A. 1991. Applicability of the abundance/biomass comparison method to detect pollution effects on intertidal macrobenthic communities. *Hydrobiol Bull.,* 24(2): 133-140.

Crisp D.J. 1984. Energy flow measurements. In: Methods for the study of marine benthos (Holme N.A. & McIntyre A.D. eds.). IBP Handbook, 16 (2nd edition): 284-372.

Josefson A.B. 1990. Increase of benthic biomass in the Skagerrak-Kattegat during 1970s-1980s: effects of organic enrichment?. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 66: 117-130.

MacArthur R.H. & Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press, Princeton.

McManus J.W. & Pauly D. 1990. Measuring ecological stress: variation on a theme by R.M. Warwick. *Mar. Biol.,* 106: 305-308.

Meire P.M. & Dereu J. 1990. Use of the abundance/biomass comparison method for detecting environmental stress: some considerations based on intertidal macrozoobenthos and bird communities. *J. Appl. Ecol., 21:* 210-223.

Parisi V., Ambrogi R., Bedulli D. & Mezzadri M.G. 1990. The soft-bottom macrobenthos: synthesis of a many-years experience (1972-1989) in the Po delta. ENEL-SIBM Symp. on the Ecology of the Po river delta. Collected contributions. Albarella (Ro) 16-18 september 1990. Vol 2 Contrib. n. 13.

Pearson T.H. & Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of marine environment. *Oceanogr. mar. Bìoi Ann. Rev.,* 16:299-311.

Pianka E.R. 1970. On r- and K-selection. *Amer. Nat.,* 104: 592-597.

Provini A., Crosa G. & Marchetti R. 1992. Nutrient export from the Po and Adige river basins over the last 20 year. In: Marine Coastal Eutrophication. The Response of Marine Transitional System to Human Impact: Problems and Perspectives for Restoration (Vollenweider R.A., Marchetti R. & Viviani R. eds.). Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy, 21-24 March 1990: 291-314.

Ritz D.A., Lewis M.E. & Shen M. 1989. Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Mar. BioL,* 103: 211-214.

Sei S., Ambrogi R. & Fontana P. 1993. La biomassa macrobentonica come indice della qualità dell'ambiente marino alle foci del Po. *Biol Mar., Suppl. al Notiziario S.I.B.M.* 1: 183-188.

Warwick R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.,* 92: 557-562.

Warwick R.M. & Clarke K.R. 1993. Comparing the severity of disturbance: a meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 92: 221-231.

Warwick R.M. & Clarke K.R. 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Mar. Biol.,* 118:739-744.

Warwick R.M, Pearson T.H. & Raswahyuni 1987. Detecting pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method. *Mar. Biol.,* 95: 193-200.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 323 - 329.

UTILIZZO DEL SAGGIO ETSA PER LO STUDIO DEI TASSI RESPIRATORI DEL MICROPLANCTON NELLA ZONA AFOTICA

Maurizio AZZARO, Giuseppina CHIODO, Ermanno CRISAFI

Istituto Sperimentale Talassografico C.N.R., Messina

ABSTRACT

A method to assess organic matter remineralization and to reveal the sites of organic oxidation in the ocean is to monitor the microbial respiration.

Since the level of *in situ* respiration of deep sea microbial communities is very low, an assay to measure the activity of the electron transport System (ETSa) has been established by Packard (1971). The enzymatic approach to measure ETSa, however, gives maximum rates that must be converted to *in situ* oxygen utilization and in metabolic CO_2 production with the aid of empirically derived coefficients.

This paper presents the tetrazolium-reduction method for the measurement of the ETS in the marine microplankton communities, the coefficients used to convert maximum potential into real respiratory rate and the vertical distribution of carbon dioxide production rates (CDPR) measured during an oceanographic survey in the Southern Adriatic (August 1993).

1. INTRODUZIONE

II consumo di ossigeno nel biota marino, a differenza della fissazione foto sintetica del carbonio, è un processo che non è limitato alla zona fotica ma avviene a tutte le profondità degli oceani dove l'ossigeno è presente. Nel mare i tassi di consumo di ossigeno sono generalmente bassi e decrescono con la profondità; la loro misura, tuttavia, è necessaria per conoscere l'economia del carbonio e i flussi di energia negli ecosistemi oceanici (Packard & Williams, 1981). Infatti, recenti stime di produzione di anidride carbonica metabolica hanno enfatizzato il ruolo della pompa biologica oceanica nell'abbattimento della CO_2 atmosferica (Packard *et al,* 1988; Savenkoff *et al,* 1993a). Inoltre, lo studio dell'ossigeno disciolto combinato con la valutazione del tassi respira tori, può essere utilizzato per conoscere la dispersione delle masse d'acqua e conscguentemente dei processi circolatori del mare (Packard, 1985a; La Feria *et al,* 1996).

A causa dei bassi livelli respiratori, non è disponibile un metodo diretto per misurare *in situ* i tassi respiratori dei microrganismi in acque oligotrofiche e/o profonde.

Tuttavia, è possibile valutare il potenziale massimo respiratorio per mezzo di un saggio che misura l'attività del sistema di trasporto degli elettroni (ETSa). Quest'ultimo può essere applicato universalmente perché l'attività ETS è presente in tutti gli organismi (Savenkoff *et al*., 1993b).

La conversione dell'attività ETS nel reale tasso respiratorio *in situ* viene fatta utilizzando dei coefficienti derivati empiricamente.

In questo studio viene presentata la metodologia utilizzata nel saggio ETS e la distribuzione verticale dei tassi respiratori del microplancton misurati durante una campagna oceanografica effettuata nell'Adriatico meridionale (Agosto 1993).

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area investigata

Nella campagna oceanografica AM3, effettuata nell'agosto 1993, diverse stazioni dell'Adriatico meridionale sono state campionate per determinare l'attività ETS. I campioni di acqua, prelevati da 100 m al fondo, sono stati raccolti usando un campionatore tipo Rosette General Oceanics a 12 posti, dotato di bottiglie Niskin da 5 litri ed interfacciato a un CTD Mark V Neil Brown. In figura 1 sono riportate le stazioni campionate.

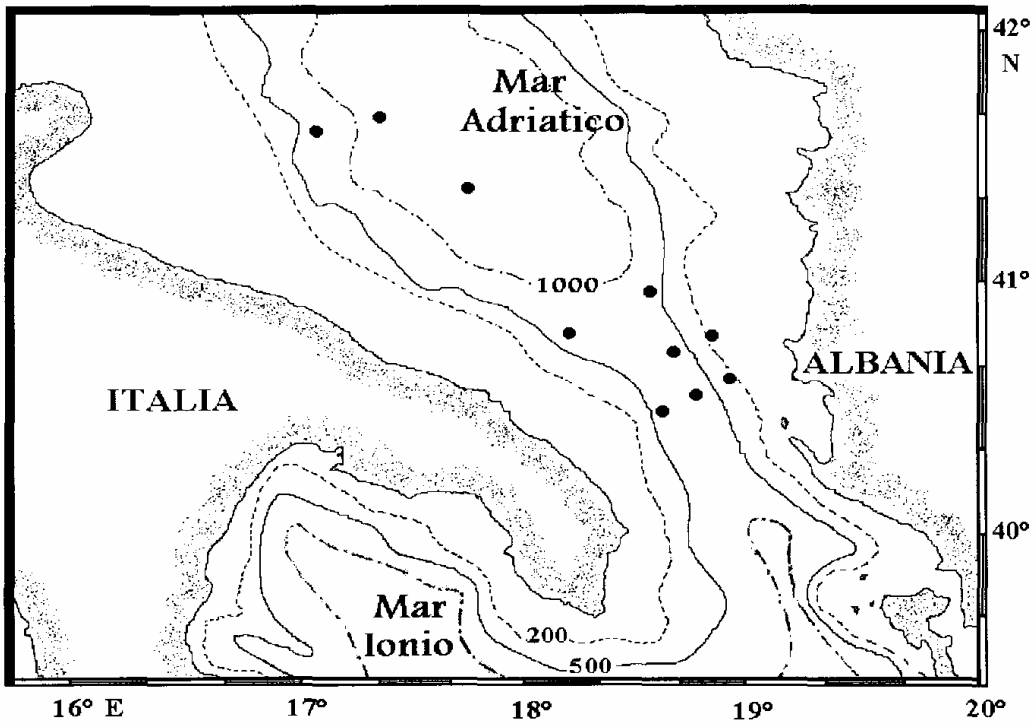


Fig.1 - Area di studio e ubicazione delle stazioni di prelievo (●).

2.2. Saggio ETSa

II principio di questa metodica consiste nell'accedere al sistema respiratorio, previa rottura delle membrane cellulari, fornirgli un eccesso dei suoi naturali substrati (NADH, NADPH e sodio succinato) e collezionare gli elettroni trasferiti tramite l'utilizzo di un accettore artificiale di elettroni come il sale di tetrazolio (INT: 2-(p-iodiofenil)-3-(p-nitrofenil)-5-feniltetrazolio cloruro).

Poiché, come noto, il sistema di trasporto degli elettroni regola il consumo di ossigeno sia negli eucarioti che nei procarioti, il saggio è stato messo a punto per determinare l'ETSa di questi due gruppi (Packard, 1971; Kenner & Ahmed, 1975a e 1975b; Packard, 1985ae 1985b).

Il tasso di utilizzazione di ossigeno come µl O2 h^{-1} 1^{-1} è calcolato stechiometricamente sulla base della reazione di riduzione dell'INT in INT-formazano.

La metodica viene, di seguito, riportata:

a) opportune aliquote d'acqua, prefiltrate su retino da 250 µm, sono state concentrate su membrane di fibra di vetro Whatman GF/F ed immediatamente conservati in azoto liquido per prevenire la degradazione enzimatica;

b) in laboratorio i filtri vengono omogenati ad una temperatura di 0-4 °C, mediante un omogenizzatore con pestello azionato da un rotore elettrico, in 4 mi di tampone fosfato (pH 8) per 2 minuti;

c) l'omogenato viene quindi centrifugato per 10 minuti a 3000 giri e a 4°C;

d) 1 mi di surnatante viene aggiunto alla miscela di reazione, in cui sono presenti 1 mi di soluzione INT e 3 ml di tampone fosfato contenente sodio succinato, NADH e NADPH. Parallelamente viene preparato un bianco privo di substrati e con 1 ml di INT. Il campione ed il bianco di riferimento vengono quindi incubati al buio a 20°C e per 20 minuti;

e) la reazione viene bloccata aggiungendo 1 mi di miscela di fine reazione contenente formalina e formiate di sodio;

f) l'assorbimento dell'INT-formazano prodotto è misurato per lettura spettrofotometrica a 490 nm. Poiché 2 µmoli di INT-formazano, con un assorbanza di 31,8 $A^{490\ nm}$ equivalgono a 1 µmole di O_2 , ed lµmole di O_2 ha un volume molare di 22,4 µl, si ottiene che 1µl di O_2 ha un assorbanza di 1,42 A^{490nm} (Packard & Williams, 1981).

L'attività ETS è calcolata con l'equazione:

$$ETSa\ (\mu l O_2\ h^{-1}\ l^{-1}) - (60 \times S \times H \times C\text{-}OD) / (1{,}42 \times f \times V \times t) \qquad (1)$$

dove :

60 = fattore di conversione da minuti ad ora;

S = volume della soluzione finale di INT-formazano (ml);

H = volume dell'omogenato (ml);

C-OD = assorbanza della mistura di reazione finale corretta per l'assorbanza del bianco;

1,42 = fattore di conversione da INT-formazano in ossigeno;

f - volume dell'omogenato usato nel saggio (1 ml);

V = volume dell'acqua di mare filtrata (*l*)

t = tempo della reazione (20 minuti).

I valori di ETSa sono stati corretti per i cambiamenti di attività causati dalla differenza tra la temperatura *in situ* (Ti) e la temperatura alla quale è stata misurata l'attività (T_2), mediante la seguente equazione:

$$ETSt(\mu l\ O_2\ h^{-1}\ l^{-1}) = ETSa \times \exp(-Kl \times [\ 1/T_1 - 1/T_2] / R\ ) \qquad (2)$$

dove :
ETSa = attività ETS, misurata alla temperatura di incubazione;
ETSt = attività ETS, corretta per la temperatura *in situ;*
R = 1,987 cal mol^{-1} deg^{-1}, costante universale dei gas;
Kl = 15,8 $Kcalmol^{-1}$, energia di attivazione (Packard *et al,* 1975).

3. RISULTATI E CONCLUSIONI

II metabolismo ossidativo nei microrganismi marini, cioè negli organismi con dimensioni microscopiche, può coinvolgere più vie metaboliche impossibili da determinare nella loro globalità. Tuttavia, poiché tutte le cellule possiedono un sistema respiratorio, lo studio dei tassi di respirazione è un espressione del tasso di ossidazione della materia organica (Lefèvre *et al.,* 1996).

I fattori utilizzati, in questo lavoro, per la conversione dell'ETSa nel reale tasso di consumo di O_2 e successivamente nel tasso di produzione metabolica di CO_2 sono, rispettivamente, 0.086 (Packard *et al.,* 1988) e 122/172 (Takahashi *et al,* 1985).

I tassi di produzione di anidride carbonica (CDPR) sono legati con una funzione di potenza alla profondità:

$$R_i = A \times Z^{B} \qquad (3)$$

dove:
R_i = tasso di produzione di CO_2 metabolica (mg C m^{-3} g^{-1});
Z = la profondità al di sotto della superficie (m);
A e B = coefficiente ed esponente per la profondità.

Inoltre i tassi di ossidazione del carbonio sono integrati nella colonna d'acqua mediante la seguente equazione:

$$\int Rdz = A\ [\ Z_2^{(B+1)} - Z_1^{(B+1)}\ ] / (B+1) \qquad (4)$$

dove:
$\int Rdz$ = tasso integrato sulla profondità (mg C m^{-2} g^{-1});
A e B = coefficiente,ed esponente ricavati dalla (3);
Z_1e Z_2 = intervallo di profondità considerato.

Nei campioni esaminati nell'Adriatico meridionale la funzione potenza che descri ve la distribuzione della produzione di CO_2 metabolica (r = 0,492; n = 27) è risultata la seguente:

$$CDPR\ (mgC\ m^{-3}\ g^{-1}) = 2{,}243\ z^{-0329}$$

Nella figura 2 è rappresentato il profilo teorico ricavato dai campioni provenienti dall'Adriatico Meridionale, mediante la suddetta funzione. Nella figura sono anche rappresentati i profili verticali di CDPR calcolati nel Mediterraneo Occidentale e negli Oceani Pacifico ed Atlantico. E' evidente l'alto tasso di ossidazione del carbonio nelle acque profonde dell'Adriatico Meridionale rispetto alle altre aree considerate. Inoltre l'esponente del fondo B determinato per l'Adriatico, maggiore in valore assoluto di quelli ottenuti nelle altre zone, indica che i tassi diminuiscono meno rapidamente con la profondità.

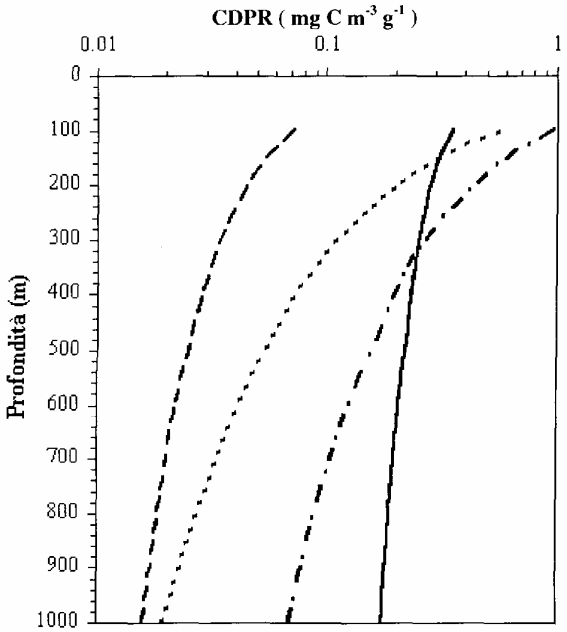


Fig. 2 - Tassi di produzione di CO_2 metabolica. I profili dei tassi di ossidazione del carbonio, relativi al Mediterraneo Occidentale ed agli Oceani Pacifico ed Atlantico, sono stati ricalcolati dalle funzioni potenza descritte dai vari AA.
——— Adriatico Meridionale (esponente B = - 0,329)
-·-·-·- Oceano Pacifico (Packard *et al.* 1988) (B = - 1,216)
····· Oceano Atlantico (Packard *et al.* 1988) (B = - 1,456)
- - - - Med. Occidentale (Christensen *et al.* 1989) (B = - 0,650)

Il tasso di ossidazione del carbonio tra 200 e 1000 m, calcolato dalla (4), è risultato 227,4 mg C m^{-2} g^{-1}. Questo valore risulta essere, rispettivamente, 2, 5 ed 11 volte maggiore di quelli da noi calcolati mediante le funzioni potenza descritte da Packard *et al.* (1988) negli Oceani Pacifico (128,1 mg C m^{-2} g^{-1}) ed Atlantico (46,9 mg C m^{-2} g^{-1}) e da Christensen *et al.* (1989) nel Mediterraneo Occidentale (19,7 mg C m^{-2} g^{-1}).

I risultati ottenuti evidenziano nelle acque profonde dell'Adriatico Meridionale un sito di ossidazione di materia organica. Tale fenomeno può essere imputato al ruolo della stagionalità e del trasporto laterale dalle "shelves". Inoltre la presenza di fenomeni convettivi invernali di acque superficiali possono intrappolare POC e/o DOC fornendo ulteriore carbonio respirabile nelle acque di fondo.

In definitiva lo studio dell'attività ETS si è rivelato un valido strumento per monitorare, globalmente su scala oceanografica, i processi ossidativi altrimenti non quantificabili nelle acque profonde. Inoltre può essere un valido supporto per la conoscenza del destino della sostanza organica nelle profondità oceaniche.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano ringraziare il Dott.re Davide Bregant (Istituto Talassografico CNR di Trieste) per il suo invito a partecipare alla campagna oceanografica AM3. Ringraziano inoltre la Dott.ssa Roberta Polimeni per il trattamento preliminare dei campioni effettuato a bordo, la Dott.ssa Antonina Allegra, per l'aiuto nelle analisi dell'attività respiratoria, e la Dott.ssa Rosabruna La Ferla (Istituto Talassografico CNR di Messina), per gli utili suggerimenti forniti durante la ricerca.

BIBLIOGRAFIA

Christensen J.P., Packard T.T., Dortch F.Q., Minas H.J., Gascard J.C., Richez C. & Garfield P.C. 1989. Carbon oxidation in the deep Mediterranean Sea: evidence for dissolved organic carbon source. *Global Biogeochemical Cycles,* 3: 315-335.

Kenner R.A. & Ahmed S.J. 1975a. Measurement of electron transport activities in marine phytoplankton. *Marine Biology,* 33: 119-128.

Kenner R.A. & Ahmed S.J. 1975b. Correlation between oxygen utilization and electron transport activity in marine phytoplankton. *Marine Biology,* 33: 129-133.

La Ferla R., Azzaro M. & Chiodo G. 1996. Microbial respiratory activity in the euphotic zone of the Mediterranean Sea. *Microbiologica,* 19: 243-250.

Lefèvre D., Denis M., Lambert C.E. & Miquel J.-C. 1996. Is DOC the main source of organic matter remineralization in the ocean water column? *Journal of Marine Systems,* 7:281-291.

Packard T.T. 1971. The measurement of respiratory electron transport activity in marine phytoplankton. *Journal of Marine Research, 29:* 235-244.

Packard T.T. 1985a. Oxygen consumption in the ocean: measuring and mapping with enzyme analysis. In: Mapping strategies in chemical oceanography (Zirino A. ed.). Advances in Chemistry, Series, 209, American Chemical Society, Washington DC (USA).

Packard T.T. 1985b. Measurement of electron transport activity of microplankton. In: Advances in Acquatic Microbiology, vol. 3 (Jannasch H.W. & Williams P.J.leB eds.). Academic Press, London (UK).

Packard T.T., Denis M., Rodier M. & Garfield P. 1988. Deep-ocean metabolic $C0_2$ production: calculations from ETS activity. *Deep-Sea Research,* 35: 371-382.

Packard T.T., Devol A.H. & King F.D. 1975. The effect of temperature on the respiratory electron transport System in marine plankton. *Deep-Sea Research,* 22: 237-249.

Packard T.T. & Williams P.J.leB. 1981. Rates of respiratory oxygen consumption and electron transport in surface sea water from the Northwest Atlantic. *Oceanologia Acta*,4:351-358.

Savenkoff C., Lèfevre D., Denis M. & Lambert C.E. 1993a. How do microbial communities keep living in the Mediterranean outflow within northeast Atlantic intermediate waters? In: JGOFS: The North Atlantic bloom experiment (Ducklow H.W. & Harris R.P. Eds), 40: 627-641.

Savenkoff C., Prieur L., Reys J.P., Lèfevre D., Dallot S. & Denis M. 1993b. Deep microbial communities evidenced in the Liguro-Provencal front by their ETS activity. *Deep-Sea Research,* 40, 4: 709-725.

Takahashi T., Broecker W.S. & Langer S. 1985. Redfield ratio based on chemical data from isopycnal surface. *Journal of Geophysical Research,* 90: 6907-6924.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 331 - 339.

INSEDIAMENTO DI GIOVANILI DI SPECIE ITTICHE IN DUE AREE COSTIERE DEL MAR LIGURE

Franco BIAGI[1], Leonardo TUNESI[2]

[1] DSUA - Dipartimento di Scienze dell'Uomo e dell'Ambiente, Università di Pisa
[2] ICRAM, Roma

RIASSUNTO

Il presente lavoro fornisce un contributo allo studio delle fasi giovanili delle specie ittiche litorali in Mar Ligure, descrivendone i periodi d'arrivo.

I dati sono stati raccolti mediante rilevamenti visivi in immersione, metodica adatta a seguire *in situ* l'arrivo dei giovanili, che avviene a profondità ridotte ed in habitat costieri ad elevata eterogeneità. I rilevamenti sono stati condotti, con cadenza quasi settimanale, nelle acque antistanti le coste rocciose del versante Nord dell'Isola d'Elba ed in quelle antistanti il Monte di Portofino, dal mese di novembre del 1993 al mese di luglio del 1996. Nel complesso è stato possibile raccogliere informazioni sul reclutamento di almeno 35 specie ittiche (2 *Atherinidae,* 4 *Blennidae,* 4 *Gobidae, 9 Labridae,* 1 *Moronidae,* 1 *Mullidae,* 1 *Pomacentridae,* 1 *Serranidae,* 12 *Sparidae).*

Lo studio condotto ha permesso di rilevare che i giovani di varie specie arrivano negli habitat costieri in momenti diversi dell'anno, permettendo di effettuare delle considerazioni sulle differenze riscontrate tra le due aree (site all'estremità Sud ed a Nord del bacino considerato) alla luce degli andamenti delle temperature nelle acque costiere oggetto di studio.

Il confronto tra i periodi d'arrivo, nelle acque del Monte di Portofino ed in quelle dell'Isola d'Elba, permette di rilevare uno sfasamento nell'insediamento dei giovanili nelle due aree; fenomeno che sembra costituire una costante per diverse specie. Al contrario, per quanto riguarda la durata della fase d'insediamento d'ogni singola specie, le osservazioni condotte sembrano indicare una buona corrispondenza tra quanto osservato nelle due aree di studio. E' segnalato il primo rinvenimento di giovanili di *Thalassoma pavo* nel versante Nord del Mar Ligure.

ABSTRACT

This paper gives information on the timing of settlement of several coastal fish species in two zones of the Ligurian Sea (NW Mediterranean). Settlement period was assessed for 35 littoral fish species (2 *Atherinidae, 4 Blennidae,* 4 *Gobidae, 9 Labridae,* 1 *Moronidae,* 1 *Mullidae,* 1 *Pomacentridae,* 1 *Serranidae,* 12 *Sparidae).* Recruitment

data were collected through visual census methods along permanent coastline sites. Surveys were carried out on a weekly basis, from November 1993 to July 1996, along rocky shores of the northern Elba Island and of the Promontory of Portofino. The first record of very young recruits of *Thalassoma pavo* in the northern part of the Ligurian Sea is reported. Differences of timing of settlement have been interpreted according to different temperature trends occurring in the two zones.

1. INTRODUZIONE

La maggioranza delle specie ittiche marine costiere presenta un ciclo vitale complesso, con una fase di dispersione larvale pelagica, alla quale seguono una o più fasi, postlarvali e subadulta, necto-bentiche e relativamente poco vagiti. L'arrivo negli habitat costieri costituisce un momento critico nella vita dei pesci demersali, in relazione ad importanti cambiamenti di habitat, di morfologia, d'alimentazione e d'attività (Brothers & McFarland, 1981). Il successo in questa fase, soggetta all'influenza delle condizioni idrodinamiche, climatologiche, trofiche, e della predazione, può avere grande importanza per la consistenza degli stock d'adulti interessati, successivamente, dall'attività di pesca (Beverton, 1984). Quindi l'approfondimento delle conoscenze sull'insediamento bentico delle specie ittiche d'interesse commerciale presenta risvolti gestionali quali, ad esempio, la stima del potenziale di reclutamento di un determinato tratto costiero e l'interpretazione delle fluttuazioni d'abbondanza della frazione di uno stock ittico sfruttabile dalla pesca. Questo tipo di studio riveste notevole importanza applicativa anche per il fatto che, in Mediterraneo, le informazioni disponibili sull'insediamento e sul reclutamento di specie ittiche costiere sono ancora relativamente scarse (Autori Vari, 1931-56; Bini, 1968; Fischer *et al,* 1987; Garcia-Rubies & Macpherson, 1995; Harmelin-Vivien *et al.,* 1995; Biagi *et al.,* 1997; Tunesi *et al.,* 1997) e legate principalmente al loro arrivo in baie o in lagune costiere (Cambrony, 1984; Quignard *et al,* 1984; Jug-Dujakovic, 1988; Tunesi, 1994). Un secondo aspetto, non meno importante, è legato al fatto che, in generale, le fasi giovanili sono più delicate di quelle adulte, in conseguenza di un loro maggiore grado di stenoecia e, pertanto, possono essere considerate un indicatore più preciso di eventuali differenze ambientali tra aree diverse. Il presente articolo si propone di fornire un contributo allo studio delle fasi giovanili delle specie ittiche litorali in Mar Ligure, cercando di interpretare le differenze riscontrate nell'arrivo dei giovanili nelle due aree studiate, rappresentative di condizioni geografiche estreme per il bacino considerato (Fig. 1), alla luce dei valori di temperatura in esse presenti.

2. MATERIALI E METODI

I rilevamenti sono stati condotti, con cadenza quasi settimanale, nelle acque antistanti le coste rocciose del versante Nord dell'Isola d'Elba (Biagi *et al,* 1997) ed in quelle prospicienti il versante Est del Monte di Portofino, nel Golfo del Tigullio, dal mese di novembre 1993 al mese di luglio 1996. I dati sulla presenza di fasi giovanili,

durante l' insediamento al fondo, sono stati raccolti *in situ* mediante rilevamenti visivi in immersione ed in *"snorkeling"* (Harmelin-Vivien *et al.,* 1985), condotti lungo percorsi costieri permanenti ed a profondità minori di 3 m; questa metodica è particolarmente adatta per studiare quanto accade negli habitat costieri a ridotta profondità ed elevata eterogeneità, ove avviene l'arrivo dei giovanili di numerose specie ittiche (Gibson, 1969; Laegdsgaard & Johnson, 1995; Tunesi *et al.,* 1996; Biagi *et al.,* 1997; Tunesi *et al.,* 1997). Nel corso di ogni immersione sono state rilevate le abbondanze e la struttura demografica dei gruppetti di giovanili osservati, aspetti comunque non trattati in questo contributo, ed inoltre è stata misurata, con termometri elettronici ed una precisione di ± 1 °C, la temperatura dell'acqua alla profondità di ca. 60 cm. Inoltre nei mesi di luglio ed agosto 1995 sono state condotte immersioni con ARA, fino alla profondità di 20 m, sui fondali dell'isolotto dello Scoglietto all'Isola d'Elba.

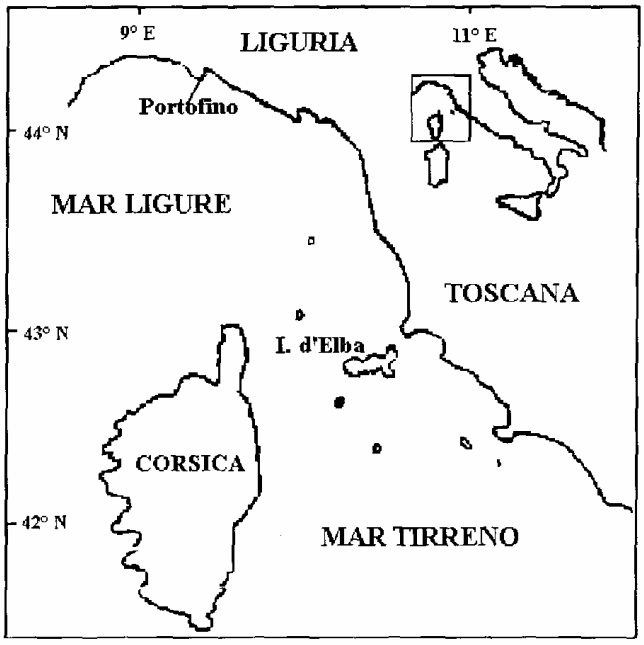


Fig. 1 - Area geografica interessata dallo studio.

3. RISULTATI

II presente studio ha permesso di raccogliere informazioni sui periodi d'arrivo nelle acque costiere dei giovanili di 27 specie nel Golfo del Tigullio e di 30 specie nelle acque meridionali del bacino ligure. Nel complesso quindi è stato possibile raccogliere informazioni su almeno 35 specie ittiche (2 *Atherinidae,* 4 *Blennidae,* 4 *Gobidae, 9 Labridae,* 1 *Moronidae,* 1 *Mullidae,* \ *Pomacentridae,* 1 *Serranidae,* 12 *Sparidae).*

Particolare interesse merita l'informazione raccolta sui periodi d'arrivo e d'insediamento dei giovanili delle specie osservate nelle due aree studiate (Tab. 1). Le osserva-

zioni condotte hanno permesso di rilevare una marcata stagionalità del fenomeno con una buona coincidenza del periodo d'insediamento d'ogni specie nel corso dei diversi anni, in funzione dell'area di studio considerata.

Il confronto tra i periodi d'arrivo, nelle acque del Monte di Portofino e in quelle dell'Isola d'Elba, permette di rilevare uno sfasamento temporale nell'insediamento dei giovanili delle due aree, fenomeno che sembra costituire una costante per diverse specie. Al contrario, per quanto riguarda la durata della fase d'insediamento dei colonizzatori d'ogni singola specie, le osservazioni condotte sembrano indicare una buona corrispondenza tra quanto osservato nelle due aree di studio (Tab. 1).

L'analisi delle osservazioni condotte evidenzia una marcata differenza per *Thalassoma pavo,* specie termofila (Tortonese, 1975), comune nelle acque del versante settentrionale dell'Isola d'Elba, ma molto rara più a Nord, nelle acque del Golfo del Tigullio (Bianchi & Morri, 1994). A questo proposito, il presente studio riporta la prima segnalazione di fasi giovanili di questa specie nel Golfo Tigullio. Nelle acque dell'Isola d'Elba, *T. pavo* sembra presentare due momenti d'arrivo (maggio e novembre) mentre, nel Golfo del Tigullio, i giovanili di questa specie sono stati rinvenuti solo in autunno. Il ritrovamento di nuove reclute nel mese di maggio potrebbe dipendere o da individui nati nella stagione estiva, dell'anno precedente, e che hanno superato l'inverno mantenendo dimensioni e livrea delle prime fasi giovanili, oppure l'epoca riproduttiva riconosciuta per questa specie, giugno e luglio, deve essere modificata alla luce delle predette osservazioni, almeno per l'area in questione.

I valori di temperatura nelle due aree considerate (Fig. 2), presentano andamenti comuni anche se sfasati nel tempo e con valori massimi e minimi molto diversi.

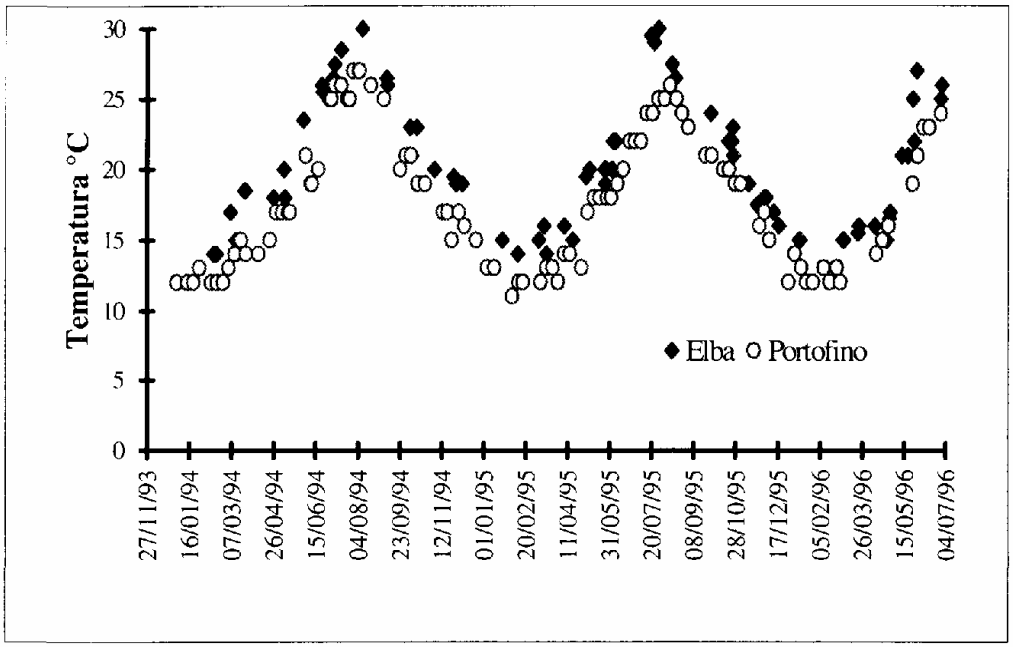


Fig. 2 - Andamenti della temperatura in due aree costiere del Mar Ligure poste rispettivamente a meridione, l'Isola d'Elba, ed a settentrione, il Golfo del Tigullio.

Tab. 1 - Periodo, indicato con il riquadro, di insediamento delle post-larve (LT < 20 mm.) di alcune specie ittiche nella fascia costiera. Il simbolo Φ indica il periodo riproduttivo desunto dalla letteratura.

SPECIE	AREA	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Atherina spp.	Elba	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ			
Atherina boyeri	Portofino												
Atherina hepsetus	Portofino												
Aidablennius sphinx	Elba				Φ	Φ	Φ	Φ					
	Portofino												
Lipophrys pavo	Elba				Φ	Φ	Φ	Φ	Φ				
Parablennius rouxi	Elba					Φ	Φ	Φ					
P. sanguinolentus ¤	Elba				Φ	Φ	Φ	Φ					
Aphia minuta	Elba	Φ	Φ	Φ									Φ
	Portofino												
Gobius bucchichii	Elba						Φ	Φ	Φ				
Gobius cobitis	Elba			Φ	Φ	Φ							
Gobius luteus ▼	Elba					Φ	Φ						
Coris julis	Elba				Φ	Φ	Φ	Φ					
	Portofino												
Symphodus tinca ✪	Elba				Φ	Φ							
	Portofino												
Symphodus cinereus ▼	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Symphodus doderleini ▼	Elba					Φ	Φ	Φ					
Symphodus mediterraneus ✪▼	Elba				Φ	Φ	Φ						
Symphodus ocellatus ✪	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Symphodus roissali ✪	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Symphodus rostratus	Portofino				Φ	Φ	Φ	Φ					
Thalassoma pavo	Elba						Φ	Φ					
	Portofino												
Dicentrarchus labrax	Elba	Φ	Φ	Φ									
	Portofino												
Mugilidae	Elba	Φ	Φ			Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	
Mullus surmuletus ¤	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Chromis chromis	Elba						Φ	Φ	Φ				
	Portofino												
Boops boops	Elba			Φ	Φ	Φ							
	Portofino												
Diplodus annularis	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Diplodus puntazzo	Elba									Φ	Φ		
	Portofino												
Diplodus sargus	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Diplodus vulgaris	Elba	Φ									Φ	Φ	Φ
	Portofino												
Lithognathus mormyrus	Portofino						Φ	Φ					
Oblada melanura	Elba				Φ	Φ	Φ						
	Portofino												
Pagellus bogaraveo	Elba	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ						Φ	Φ
	Portofino												
Pagellus erythrinus	Portofino				Φ	Φ	Φ	Φ					
Pagrus pagrus pagrus	Portofino				Φ	Φ	Φ						
Sarpa salpa	Elba		Φ	Φ						Φ	Φ		
	Portofino												
Spondyliosoma cantharus	Portofino			Φ	Φ	Φ							
Serranus cabrilla ¤	Portofino				Φ	Φ	Φ	Φ					
Tripterigyon spp.	Elba				Φ	Φ	Φ	Φ					

▼ Scoglietto prof. 5-15 m; ✪ LT= 25mm.; ¤ reclutamento a taglia maggiore di 20 mm

La temperatura più bassa in Tigullio, registrata il 4.2.1995, è stata di 11 ° C, di ben 2° C inferiore rispetto a quella rilevata all'Elba; così la temperatura massima di 27° C, registrata in Tigullio nell'estate del 1994, è inferiore di 4° C rispetto a quella riscontrata nelle acque del versante Nord dell'Isola d'Elba.

4. CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

II presente studio conferma la notevole importanza delle acque più strettamente costiere, di norma a profondità minori di 3 m, per il primo insediamento di numerose specie ittiche, integrando quanto già riportato in letteratura (Harmelin-Vivien *et al,* 1995).

I giovanili delle specie ittiche costiere presentano una notevole selettività in relazione al microhabitat di primo insediamento (Biagi *et al,* 1997; Tunesi *et al.,* 1997); quest'aspetto sembra essere la causa principale della differenza riscontrabile nelle liste di specie relative alle due aree di studio (Tab. I). Il mancato rinvenimento d'individui recentemente insediatisi di *Lipophrys pavo, Gobius bucchichii, Gobius cobitis, Parablennius sanguinolentm* nel Golfo del Tigullio è determinata dall'assenza, nei tratti studiati per quest'area, dei microhabitat di primo insediamento propri di queste specie, piuttosto che al loro mancato arrivo nel Golfo del Tigullio. Altrettanto può essere detto per le specie *Lithognathus mormyrus, Pagrus pagrus pagrus, Serranus cabrilla, Spondyliosoma cantharus, Pagellus erythrinus, Symphodus rostratus,* per le quali non è stato registrato l'insediamento nelle acque dell'Isola d'Elba.

II confronto delle osservazioni, condotte nelle due aree di studio, permette di identificare una marcata stagionalità nel fenomeno dell'insediamento delle fasi giovanili nei microhabitat costieri. Questa stagionalità, confermata in ognuna delle aree nel corso dei due anni di studio, presenta una corrispondenza anche tra le due aree considerate (Tab. 1). Le due zone di studio differiscono però per uno sfasamento nei periodi di arrivo dei giovanili delle diverse specie; questo fenomeno potrebbe essere in parte spiegato dalle differenze nei valori di temperatura registrati nelle acque litorali delle due aree studiate (Fig. 2). Infatti, la parte Nord del bacino ligure costituisce un'area particolare dal punto di vista biogeografico, per la quale diversi autori hanno evidenziato, per quanto riguarda le specie bentiche, affinità per le aree temperato-fredde (Rossi, 1969; Albertelli *et al,* 1981; Cattaneo Vietti *et al,* 1988; Tunesi & Peirano, 1990). Le osservazioni condotte nel corso del presente studio sembrano quindi indicare che l'area del Golfo del Tigullio costituisca una realtà particolare, con temperature più basse rispetto all'Isola d'Elba. Questa situazione determinerebbe un generale ritardo negli arrivi dei giovanili (forme stenoterme) che permetterebbe loro di fruire di temperature leggermente più elevate.

Quest'interpretazione sembra trovare conferma analizzando il comportamento di *Thalassoma pavo* specie termofila, di origine tropicale, che è rara lungo il versante Nord del Mar Ligure, la cui comparsa nelle acque francesi negli ultimi anni, in concomitanza con il rinvenimento di altre specie, ha portato Francour *et al.* (1994) e, per quanto riguarda il bacino ligure, Astraldi *et al.* (1994) a formulare delle considerazioni sul verificarsi di una fase di riscaldamento delle acque del Mediterraneo. In caso di

temperature troppo basse gli adulti di *T. pavo* non sono in grado di portare a compimento la maturazione sessuale e questa quindi può non avvenire ogni anno (Bini, 1968).

In base a questi presupposti, è interessante rilevare che laddove questa specie è assai abbondante, come all'Isola d'Elba, i suoi giovanili si insediano nelle acque costiere in due momenti dell'anno: tarda primavera ed autunno; in Tigullio invece, è stato registrato il solo periodo di arrivo autunnale. Questa particolarità, riscontrata nei diversi anni di studio, può avere due spiegazioni:

1. l'arrivo dei giovanili da aree site più a Sud, mediante il trasporto da parte delle acque calde della Corrente Tirrenica che scorre lungo le coste tirreniche con direzione Nord (Astraldi & Gasparini, 1992). Tale corrente è in grado, in anni particolari ed in relazione alle condizioni atmosferiche e climatiche, di determinare il trasporto verso Nord di larve e/o uova di specie più meridionali (Bianchi & Moiri, 1994);
2. la presenza di riproduttori, arrivati negli anni precedenti; questa seconda ipotesi sarebbe supportata dal rinvenimento relativamente frequente di esemplari di *T.pavo* nelle acque del Monte di Portofino a partire dalla seconda metà degli anni '80.

Questa problematica andrà sicuramente approfondita, ambedue le ipotesi presentate ribadiscono però la necessità di elevati valori di temperatura per favorire la maturazione sessuale in *T. pavo,* valori che lungo il versante Nord del Mar Ligure si raggiungerebbero solo nel corso dei mesi estivi (Fig. 2). A supporto di questa ipotesi va ricordato che Bianchi & Morri (1994) hanno rinvenuto esemplari maturi di *T. pavo* proprio nei mesi di giugno e settembre del 1992 nelle acque liguri dell'Isola Gallinaria.

Le osservazioni condotte permettono quindi di rilevare una buona uniformità nel reclutamento delle fasi giovanili delle specie ittiche nelle acque costiere del Mar Ligure, evidenziando però differenze che sembrano legate ai diversi andamenti delle temperature nelle acque presenti ai due estremi dell'asse Nord - Sud del bacino ligure.

RINGRAZIAMENTI

Questa ricerca fa parte del progetto di ricerca MED 92/007 finanziato dall'U.E. Particolari ringraziamenti sono dovuti al Centro Interuniversitario di Biologia Marina di Livorno, Ente che ha amministrato il progetto ed ha fornito l'assistenza logistica, oltreché ai colleghi S. Gambaccini, L. Mariani, M. Mori, M. Vacchi e M. Zazzetta che hanno contribuito alle attività di campionamento ed alla realizzazione del progetto stesso. Un sentito ringraziamento va, inoltre, ai due revisori del testo che hanno contribuito al miglioramento dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

Albertelli G., Cattaneo M. & Drago N. 1981. Macrobenthos du plateau continental ligure et de l'Archipel toscan: apercus zoogéographiques. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.,27,2:* 127-128.

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

Astraldi M., Bianchi C. N., Gasparini G.P. & Morri C. 1994. Climatic fluctuations, current variability and marine species distribution: a case study in the Ligurian Sea (north-west Mediterranean). *Oceanologica Acta,* 18,2: 139-149.

Autori Vari 1931 -56. Uova, larve e stadi giovanili dei teleostei. Fauna e Flora del Golfo di Napoli. Monogr., 38: 1-1064.

Beverton R.J. 1984. Dynamics of single species. In: Exploitation of marine communities (May R.M. ed.). Springer Verlag, Berlin: 13-58.

Biagi F., Gambaccini S. & Zazzetta M. 1997. Insediamento e microhabitat di specie ittiche nella fascia costiera. *Biol. Mar. Medit.,* 4(1): 195-203.

Bianchi C. N. & Morri C. 1994. Southern species in the Ligurian Sea (Northern Mediterranean): new records and a review. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova,* 58-59: 181-197.

Bini G. 1968. Atlante dei pesci delle coste italiane. Osteitti. Mondo sommerso Editrice, Roma.

Brothers E.B. & McFarland W.N. 1981. Correlations between otolith microstructure, growth, and life history transitions in newly recruited French grunts *(Haemulon flavolineatum* (Desmaret), Haemulidae. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. int. Explor. Mer,* 178:369-374.

Cambrony M. 1984. Identification et périodicité du recrutment des juveniles de Mugilida dans les étangs littoraux du Langedoc-Roussillon. *Vie Milieu,* 34: 221-227.

Cattaneo Vietti R., Sirigu A.P. & Tommei A. 1988. Sea of Liguria. Research Centre of the Union of Ligurian Chamber of Commerce, Genova, 2nd edition: 1-62.

Fischer W., Bauchot M.L. & Schneider M. 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. (Révision 1). Mediterranee et mer Noire. Zone de pêche 37. Volume TI. Vertébrés. Rome, Fao, 2: 761 -1530.

Francour P., Boudouresque C.F., Harmelin J.G., Harmelin-Vivien M.L. & Quignard J.P. 1994. Are the Mediterranean Waters Becoming Warmer? Information from Biological Indicators. *Mar. Poll Bull,* 28 (9): 523-526.

Garcia-Rubies A. & Macpherson E. 1995. Substrato use and temporal pattern of recruitment in juvenile fishes of the Mediterranean littoral. *Mar. Biol.,* 124: 35-42.

Gibson R.N. 1969. The biology and behaviour of littoral fish. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu.Rev.,*7:367-410

Harmelin-Vivien M.L., Harmelin J.G., Chauvet C., Duval C., Galzin R., Lejeune P., Barnabe' G., Blanc F., Chevalier R., Duclerc J. & Lassere G. 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations des poissons: méthodes et problèmes. *Rev. Ecol.,* 40: 467-539.

Harmelin-Vivien M.L., Harmelin J.G. & Leboulleux V. 1995. Microhabitat requirements for settlement of juvenile sparid fishes on Mediterranean rocky shores. *Hydrobiologia,* 300/301: 309-320.

Jug-Dujakovic J. 1988. Growth and temporal distribution of juveniles sparids in the Sibenik area in the Middle Adriatic. *F.A.O. Fish. Rep.,* 394: 152-158.

Laegdsgaard P. & Johnson C.R. 1995. Mangrove habitats as nurseries: unique assemblages of juvenile fish in subtropical mangrovesin eastern Australia. *Mar. Ecol. Progr. Ser.,* 126: 67-81.

Quignard J.P., Man -Wai R. & Vianet R. 1984. Les poissons de l'étang de Mauguio Hérault, France. Inventaire, structure du peuplement, croissance et polymorphisme des tailles. *Vie Milieu,* 34: 173-183.

Rossi L. 1969. Considerazioni zoogeografiche sul Bacino NW del Mediterraneo, con particolare riguardo al Mar Ligure. *Archo bot. biogeogr. ital,* XLV-4[a] serie, 14 (4): 139-152.

Tortonese E. 1975. Osteichthyes (pesci ossei). Parte Seconda. Fauna d'Italia, XI. Calderini, Bologna: 1-636.

Tunesi L. 1994. Presenza di giovanili di specie ittiche necto-bentiche nelle acque costiere del Golfo Tigullio (Mar Ligure). *Biol. Mar. Medit.,* 1 (1): 315-316.

Tunesi L., Mariani L., Mori M. 1997. Insediamento di stadi giovanili di specie ittiche nelle acque costiere del Golfo Tigullio (Mar Ligure). *Biol. Mar. Medit., 4* (1): 282-290.

Tunesi L. & Peirano A. 1990. Lineamenti biogeografici del Mar Ligure Centr Orientale: invertebrati megabentici dei fondi mobili. *Oebalia,* Suppl., 16 (1): 349-356.

Tunesi L., Vacchi M. & Mori M. 1996. Osservazioni sugli stadi giovanili del genere *Diplodus* nelle acque del Golfo Tigullio (Mar Ligure). *Atti XI Congr. A.I.O.L.:* 213-224.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 341 - 350.

VARIAZIONI DELLA LINEA DI RIVA E DINAMICA DEI SEDIMENTI TRA MARINA DI CASALVELINO E MARINA DI ASCEA (CILENTO, CAMPANIA)

Ennio COCCO, Felicia MUSELLA

Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Federico II", Napoli

RIASSUNTO

II tratto di litorale indagato è parte integrante di un'ampia unità fisiografica - Piana dell'Alento - estesa circa 8 km con orientazione NW-SE, limitata agli estremi dalle propaggini terminali del M. della Stella e di M. Sacro, due dei più alti ed articolati gruppi montuosi della regione del Cilento. Dal punto di vista evolutivo il confronto cartografico 1871/1954 evidenzia una netta tendenza all'arretramento delle spiagge in esame, correlabile ad importanti interventi di bonifica eseguiti agli inizi del 1900; negli ultimi decenni il regime litoraneo dell'area viene profondamente alterato da interventi antropici sia in mare che a terra. L'analisi dinamico-modale dei sedimenti prelevati nell'area di Foce Alento evidenzia la dispersione a ventaglio delle sabbie medie e fini con una deriva prevalente verso SE, confermata a pieno da indagini con traccianti artificiali di fondo.

ABSTRACT

The study site is made up of approximately 8 km of coast with NW-SE orientation, between the La Punta and T.re del Telegrafo rocky promontories which represent the extreme ramification of two of most important mountain group of the Cilento region: M. della Stella and M. Sacro. Two sectors are dìstinguished: the fìrst one, characterized by sandy-pebble low beaches formed by the Alento river, is limited landward by antropized dune ridges; the second one, characterized by a narrow coastal zone completely urbanized, is bordered by the hillslopes wich connect the M. Sacro Group. The coast is subject from 1871 to a net erosional trend due to human activities on the drainage basin as well as in the coastal zone, especially in the last decades.

The sand transport is from NW to SE, as confirmed by sedimentological and dynamical features.

1. INTRODUZIONE

Vengono illustrati i risultati delle ricerche condotte lungo la costa tra Marina di Casalvelino e Marina di Ascea, estesa per circa 8 km con orientazione NW-SE tra le propaggini del Monte della Stella e di Monte Sacro, due dei più alti e articolati gruppi

montuosi del Cilento. Il rifornimento del materiale clastico alle spiagge è garantito dal Fiume Alento con il suo principale affluente - il Torrente Palistro - e dal Torrente Fiumarella, con un bacino idrografico complessivo superiore a 500 km^2. Attualmente su questi corsi d'acqua e su gran parte dei loro tributari, sono state realizzate dighe e traverse le quali hanno comportato una notevole riduzione del trasporto solido di fondo.

Le ricerche hanno comportato il rilievo batimetrico dei fondali entro la profondità di 10 m, il prelievo e l'analisi di 100 campioni di sedimenti di battigia e di spiaggia sommersa, l'esecuzione di una campagna di indagini sperimentali a mezzo di traccianti artificiali di fondo nonché l'analisi comparativa di numerose carte topografiche ed aerofotogrammetriche di epoca compresa tra il 1871 ed il 1995.

2. CARATTERISTICHE MORFOSEDIMENTOLOGICHE DELLA SPIAGGIA EMERSA E SOTTOMARINA

L'area in esame (Fig. 1) può essere suddivisa in due tratti a caratteri differenti: il primo, tra Marina di Casalvelino e la Rocca di Velia, un piccolo promontorio sede di importanti evidenze archeologiche della Magna Grecia, è caratterizzato da basse spiagge sabbiose, talvolta ghiaiose, alimentate dal F. Alento e limitate verso l'interno da cordoni dunari antropizzati e quindi da vaste aree subpianeggianti.

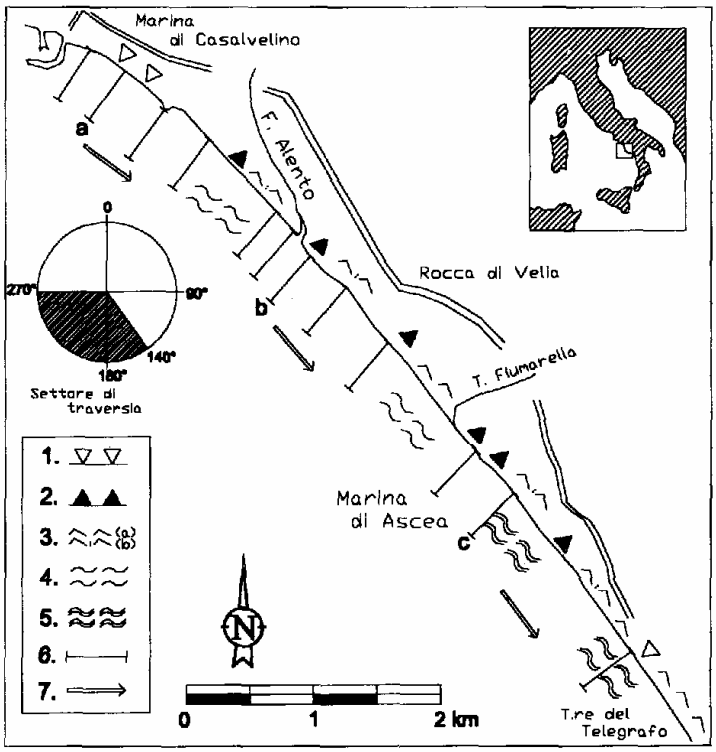


Fig. 1 - Ubicazione dell'area in studio e principali caratteri morfosedimentologici e dinamico-evolutivi. Legenda: 1. Spiaggia in avanzamento; 2. Spiaggia in arretramento; 3. Allineamenti dunari antropizzati (a) ed allo stato naturale (b); 4. Sistema barra/truogolo; 5. Sistema barra/bassofondo; 6. Tracce delle sezioni batimetriche; 7. Deriva litoranea prevalente.

Attualmente la spiaggia di Marina di Casalvelino è dominata dalla presenza di un porticciolo turistico e di nove barriere longitudinali a SE del molo di sottoflutto le quali hanno comportato da un lato la ricostituzione dell'arenile a tergo e dall'altro accentuati fenomeni di erosione nelle adiacenti zone a SE, fino alla foce del F. Alento.

Il secondo tratto, tra la Rocca di Velia e T.re del Telegrafo, presenta una stretta cimosa litoranea completamente urbanizzata, limitata verso l'interno dai versanti collinari che incombono direttamente sulla costa. Presso T.re del Telegrafo si osserva un'ampia spiaggia seguita da estesi cordoni dunari ancora allo stato naturale.

I caratteri della spiaggia sottomarina rispecchiano fedelmente l'assetto fisiografico delle aree emerse.

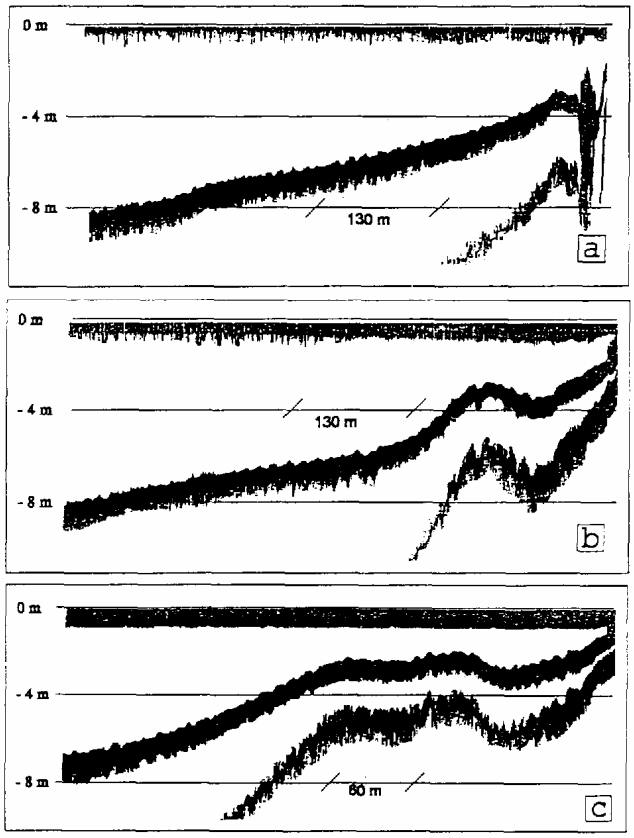


Fig. 2 - Morfologia della spiaggia sottomarina: profili batimetrici nell'area di Marina di Casalvelino in corrispondenza delle opere di difesa (a), in sinistra Foce Alento (b) e in località T.re del Telegrafo (c).

Infatti nell'area di Marina di Casalvelino, a largo delle barriere longitudinali, è presente (Fig. 2a) un sistema di barre appena accennato con creste intorno a 3 m di profondità passante verso il largo a fondali poco acclivi (1%). Nell'area centrale del

paraggio, caratterizzato dalla foce del F. Alento, si può osservare (Fig. 2b) un sistema ben sviluppato di barra-truogolo, con cresta intorno a -2 m e truogolo a -3 m, a una distanza dalla riva di circa 100 m; il piede foraneo si posiziona alla profondità di 4-5 m, seguono verso il largo fondali uniformi con pendenza inferiore a 1%. Procedendo verso Marina di Ascea il sistema barra-truogolo viene sostituito da una articolata barra-bassofondo tra la riva e la profondità di 2 m (Fig. 2c), ampia circa 200 m, con un piede foraneo a -6/-7 m, seguono fondali uniformi con pendenza del 2%. Studi in corso di svolgimento su basi aerofotografiche consentono di classificare le spiagge in esame, in accordo con Wright & Short 1983, del tipo a stadio intermedio - a dominio dissipativo e riflessivo - con barre e costa ritmiche o con barre e *rip* trasversali (stadi "c" e "d").

Dal punto di vista sedimentologico sono state rilevate quattro facies granulometriche disposte parallelamente alla costa. Sabbie grossolane e molto grossolane con granuli e ciottoli sono presenti tra la battiglia ed il suo gradino (1-2 m di profondità); sabbie medie si rinvengono tra -1/-2 e -3,5 m, seguono sabbie fini e quindi molto fini oltre -6 m. Il passaggio tra le sabbie medie e le sabbie fini si posiziona in prossimità del piede della barra foranea a marcare il limite della zona dei frangenti. Nell'area di Foce Alento (Fig. 3) si riscontra una estesa cuspide di sabbie medie e di sabbie grossolane-molto grossolane con ghiaie a marcare la presenza di un antico complesso di foce sommerso ubicato più a largo e a SE rispetto all'attuale posizione dello sbocco fluviale.

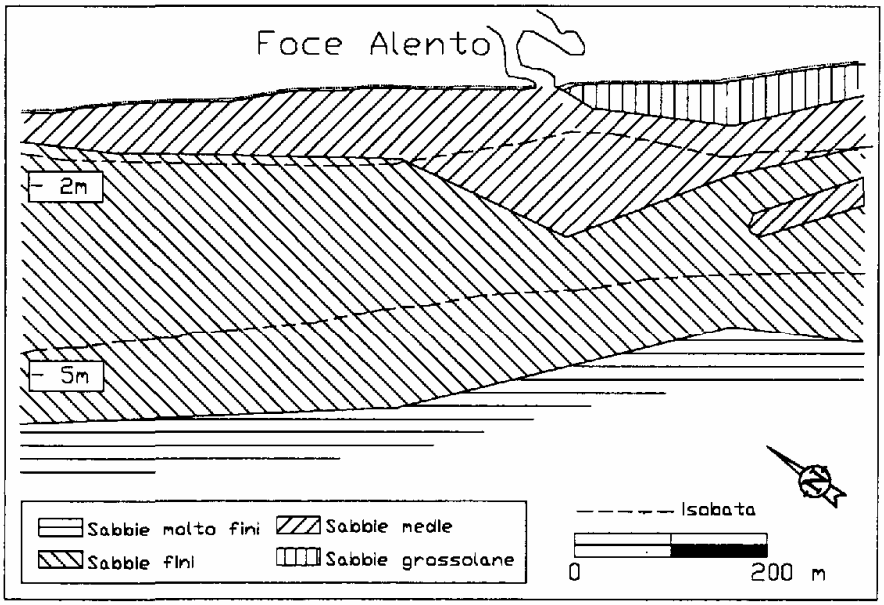


Fig. 3 - Distribuzione areale dei sedimenti in funzione del diametro medio, nell'area di Foce Alento.

3. ASPETTI IDRODINAMICI

3.1. Regime delle onde

L'area in esame è compresa nel settore di traversia delimitato dalle direzioni 140°N-270°N; il fetch massimo di 560 miglia nautiche corrisponde alla direttrice

250°N. I venti che contribuiscono significativamente alla formazione del moto ondoso di largo appartengono al II e III quadrante della rosa dei venti.

Dalla elaborazione dei dati relativi alla stazione di Ustica nel periodo 1951-81 è risultato che le ondazioni di maggiore frequenza provengono dalle direzioni 230°N-270°N (oltre 1500 eventi su 2567, valore percentuale superiore al 60%). La direzione di modellamento è risultata la 230°N, con altezza d'onda media del trentennio di osservazione di 2,08 m; la massima altezza d'onda per il periodo di ritorno ventennale è pari a 7,70 m e proviene dalla direzione di largo 230°N.

L'esame delle onde rifratte indica che la direzione di modellamento presenta un angolo di approccio alla costa pressoché ortogonale mentre le direzioni adiacenti, anch'esse ad elevata frequenza d'apparizione e con notevoli contenuti energetici, producono angoli al frangimento tali da indurre correnti con componenti longitudinali.

3.2. Regime dei sedimenti

L'applicazione dell'analisi dinamico-modale (Cortemiglia, 1986) ai campioni prelevati nell'area di Foce Alento evidenzia che i sedimenti che partecipano alla dinamica costiera sono rappresentati in maggior misura dalle sabbie fini e medie-fini, quindi dalle sabbie grossolane-molto grossolane e solo limitatamente dalle sabbie molto fini.

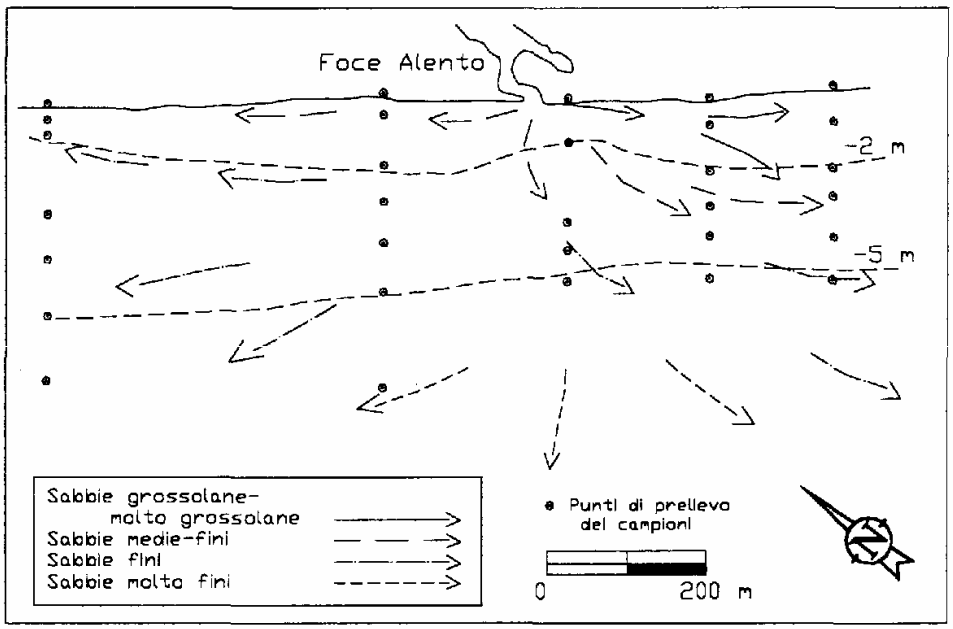


Fig. 4 - Schema della dispersione dei sedimenti nell'area di Foce Alento.

Come si può osservare dallo schema della dispersione dei sedimenti (Fig. 4), le sabbie grossolane-molto grossolane (subpopolazione modale cumulata 1,46 - 0,55 mm) si spostano tra la battigia e la profondità di 1 m da NW verso SE. Le sabbie medie-fini (subpopolazione modale cumulata 0,500 - 0,240 mm) mostrano una dispersione a ventaglio: in destra foce la mobilitazione dei sedimenti risulta confinata entro la

profondità di 1 m, con vettori di transito diretti verso NW, mentre in sinistra foce la mobilitazione avviene entro la profondità di 3 m, con vettori diretti dapprima trasversalmente quindi parallelamente alla costa verso SE. Le sabbie fini (subpopo lazione modale 0,210 - 0,135 mm) si spostano sia verso NW, entro la profondità di 2 - 5 m, sia verso SE, oltre la profondità di 5 m. Le sabbie molto fini (subpopolazione modale 0,117- 0,103 mm), si disperdono verso il largo, oltre la profondità di 6 m.

Viene così confermata la presenza di componenti trasversali che mobilitano le sabbie molto fini preferibilmente verso il largo e di componenti longitudinali che trasferiscono la sabbie grossolane-molto grossolane esclusivamente verso SE e le sabbie medie-fini e fini sia verso NW che verso SE.

3.3. Indagini sperimentali a mezzo di traccianti artificiali

Allo scopo di acquisire dati sperimentali utili alla conferma del verso del trasporto litoraneo, è stata effettuata una campagna di indagini, durata 28 giorni, con impiego di traccianti artificiali di fondo *(sea-bed driftem,* Cocco *et al,* 1992).

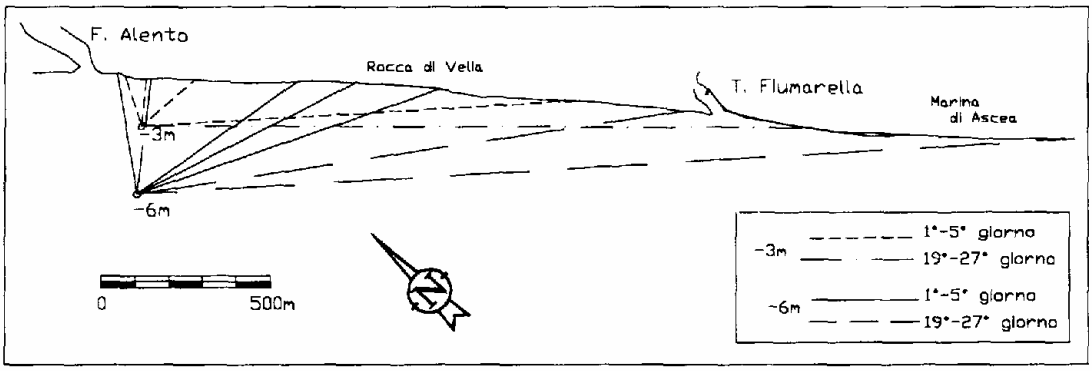


Fig. 5 - Direttrici di spostamento dei traccianti artificiali.

Il giorno 3/10/1994, nell'area prospiciente la riva sinistra del F. Alento, sono stati immessi 88 traccianti, 40 alla profondità di 3 m e 48 alla profondità di 6 m, ad una distanza dalla costa rispettivamente pari a 150 m e a 350 m. Le condizioni del mare furono caratterizzate da un rapido peggioramento nel corso della giornata con onde, provenienti da 330°N, alte circa 1 m e con periodo di 8-10 s. Già la mattina successiva venivano recuperati (Fig. 5) 27 traccianti della profondità di 3 m (9 in corrispondenza del punto di immissione, 2 presso la riva sinistra del F. Alento e 16 ad una distanza compresa tra 350 e 1.500 m verso SE) e 5 traccianti della profondità di 6 m (2 presso la riva sinistra e 3 ad una distanza compresa tra 700 e 950 m verso SE). Tra il 2° ed il 5° giorno venivano recuperati altri 9 traccianti, 2 di -3 m e 7 di -6 m, tra la sponda sinistra del F. Alento ed una distanza di 2.000 m verso SE. Un ultimo gruppo di 14 traccianti veniva recuperato tra il 19° ed il 27° giorno in concomitanza con onde provenienti da 340°N, di altezza tra 1 e 2 m e periodo di 8 s: 2 della profondità di 3 m ad una distanza compresa tra 2.000 e 2.800 m verso SE e 12 della profondità di 6 m, tra il punto di immissione (2 traccianti) ed una distanza compresa tra 1.650 e 3.250 m verso SE.

In definitiva l'impiego dei traccianti di fondo ha evidenziato quanto segue:

1) le percentuali di recupero dei traccianti sono risultate molto alte: 77,5% relativamente a quelli immessi alla profondità di 3 m, 52% per quelli di -6 m;
2) i recuperi sono avvenuti praticamente tra il 1° ed il 5° giorno e tra il 19° ed il 27° giorno dall'immissione, in concomitanza con ondazioni provenienti dal IV quadrante;
3) il 36% dei traccianti spiaggiati è stato recuperato grosso modo in corrispondenza del punto di immissione, mentre il 64% è stato recuperato, sempre a SE, fino ad una distanza di 3.200 m;
4) la velocità di spostamento dei traccianti è risultata compresa tra 0,1 e 1,7 cm/s.

Risulta confermata pertanto, relativamente al periodo di indagine, la presenza di componenti trasversali e soprattutto longitudinali delle correnti generate dal moto ondoso al frangimento.

4. VARIAZIONI DELLA LINEA DI RIVA

Per gli anni 1871/1984 lo studio delle variazioni della linea di riva (Fig. 6) è stato effettuato attraverso l'analisi ed il confronto di carte topografiche I.G.M. a scala 1:50.000 e 1:25.000.

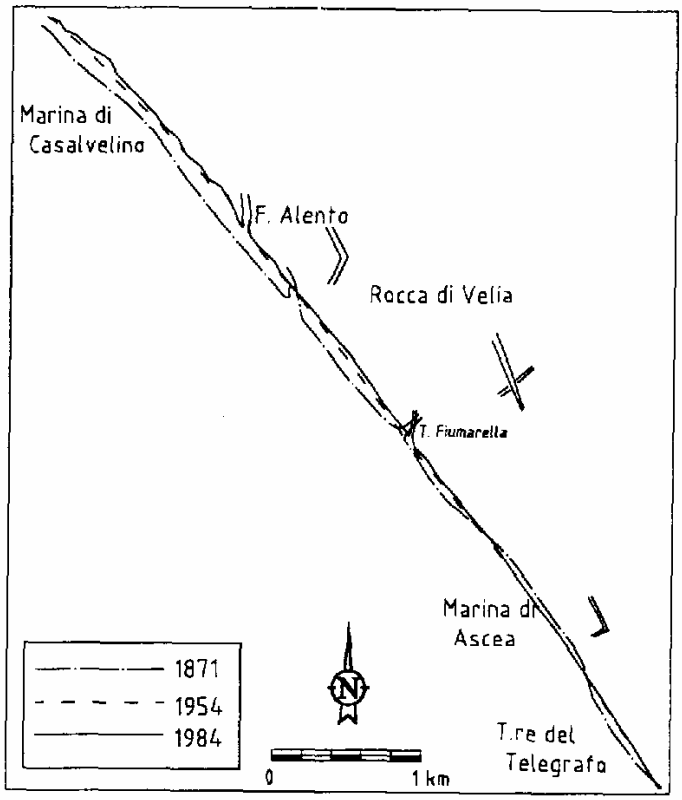


Fig. 6 - Variazioni della linea di riva dell'intero tratto in esame, nel periodo 1871 - 1984.

Per il tratto tra Marina di Casalvelino e la Rocca di Velia si riscontra per il periodo 1871/1954 una netta tendenza all'arretramento, con valore medio pari a 0,7 m/anno; si assiste inoltre alla migrazione dell'asse fluviale verso NW di circa 500 m. Si ricorda che all'inizio del secolo scorso (cfr. Atlante di Rizzi Zannoni, 1809) la foce fluviale si trovava circa 2 km a NW della Rocca di Velia, mentre nel 1871 si era spostata di 1,4 km verso SE. Tra il 1954 ed il 1984 continua la tendenza generale all'arretramento con valori prossimi ad 1 m/anno.

Per il tratto tra la Rocca di Velia e T.re del Telegrafo zone in avanzamento si alternano a zone in arretramento, mentre all'estremità sud orientale, presso T.re del Telegrafo, si registra un forte avanzamento (1,5 m/anno). Nel periodo 1954/84 la linea di riva può considerarsi stabile.

Per gli anni 1975/1995 è possibile ricostruire con maggiore dettaglio le variazioni della linea di riva, disponendo di planimetrie aerofotogrammetriche in scala compresa tra 1:2.000 e 1:10.000. Per il tratto di Marina di Casalvelino l'evoluzione risulta in effetti fortemente influenzata da una serie prolungata di interventi negli anni '80, culminati nella realizzazione di un porticciolo turistico e di successive opere a difesa delle spiagge di sottoflutto soggette a rapido arretramento (Cocco *et al.,* 1993); al 1995, nella zona difesa dalle barriere longitudinali si riscontra una ricostituzione dell'arenile di circa 50.000 m^2 di superficie, mentre l'area adiacente a SE, fino alla località Pantano, si presenta in forte arretramento con valori compresi tra 1,5 m/anno (periodo 1975/88) e 2,6 m/anno (periodo 1988/95). La perdita di superficie in questo caso è pari a circa 35.000 m^2. Da rilevare in particolare che la spiaggia impostata sul complesso di foce del F. Alento, caratterizzata da un modesto arretramento fino al 1988, è soggetta da tale data ad una netta crisi erosiva, con arretramento medio pari a 4 m/anno (Fig. 7).

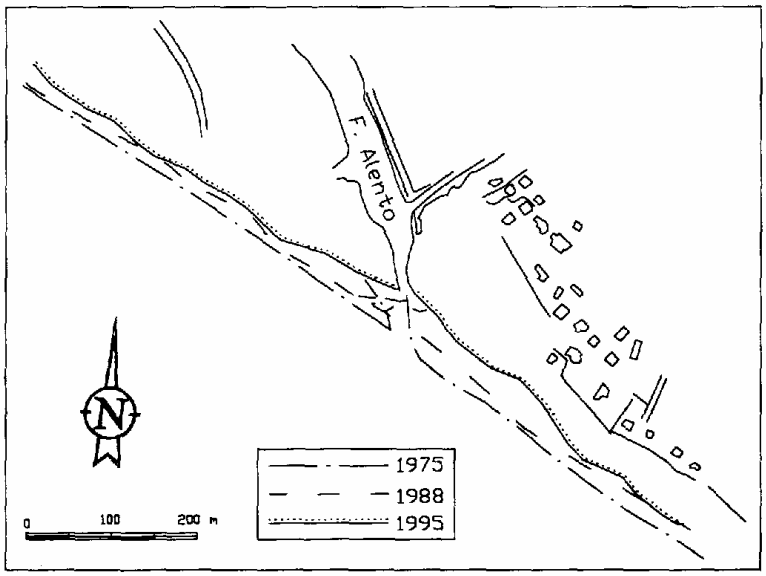


Fig. 7 - Variazioni della linea di riva tra il 1975 ed il 1995 del tratto sotteso dalla foce del F. Alento.

Per il tratto di Ascea si assiste ad una evoluzione alquanto differenziata: nel periodo 1975/82 si osserva un generale arretramento, con valore medio compreso tra 0,4 e 1,9 m/anno, mentre nel periodo 1982/95 si riscontra un avanzamento pressoché generalizzato, con valore medio compreso tra 0,3 e 1,3 m/anno (Fig. 8).

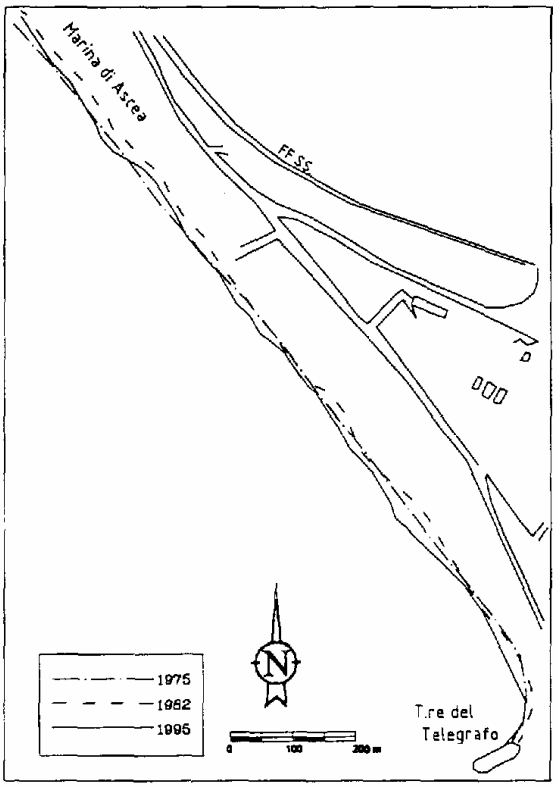


Fig. 8 - Variazioni della linea di riva tra Marina di Ascea e T.re del Telegrafo (periodo 1975 - 1995).

5. CONCLUSIONI

Le ricerche condotte lungo il litorale di Casalvelino-Ascea (Cilento), hanno consentito di delineare un quadro esauriente della dinamica dei sedimenti e della variazioni della linea di riva nell'ultimo secolo. A differenza della maggior parte dei litorali italiani, l'area in esame è soggetta, già dalla fine del secolo scorso, ad una tendenza di tipo recessivo che si protrae fino ai nostri giorni, tendenza imputabile ad una intensa attività umana nel bacino idrografico del F. Alento e lungo la fascia costiera.

Nel bacino idrografico tale attività fu volta a bonificare, all'inizio del '900, un'area malsana, ricca di paludi e acquitrini (si colmarono artificialmente vari stagni permanenti lungo il litorale e furono sistemati 24 km di argini e 26 km di canali e di collettori) per permettere iniziative di colonizzazione ed urbanizzazione; negli ultimi venti anni tale attività si estrinseca nella sistemazione idrogeologica di circa 3.000 ha di

territorio montano e collinare attraverso rimboschimenti, regimazioni di corsi d'acqua e costruzione di briglie e gabbionate. Inoltre risultano prelevati 2 milioni di m^3 di inerti in alveo dal 1970 al 1980 (dati ufficiali), per realizzare sull'intero bacino 6 dighe, prevalentemente in terra, la più grande delle quali, la diga di Piano della Rocca, presenta una capacita' di invaso di 34 milioni di m^3 e sottende un bacino di 102 km^2.

In ambito costiero l'attività umana si concretizza, a partire dagli anni '70, nella urbanizzazione di circa 1 milione di m^2 di cimosa litoranea e in una serie prolungata di interventi (realizzazione del porticciolo e delle successive ripetute opere di difesa nell'area di sotto flutto) che alterano profondamente il regime idrodinamico inducendo nel settore in destra Foce Alento e nel settore di Marina di Ascea una crisi erosiva irreversibile.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia vivamente ring. M. Serpico per l'indispensabile contributo fornito nella determinazione del regime delle onde.

Ricerche eseguite con il contributo di fondi ex M.U.R.S.T. quota 40 e 60%.

BIBLIOGRAFIA

Cocco E., de Magistris M.A., Bentivoglio C., Iacono Y. & Serpico M. 1993. Processi erosivi, opere di difesa e riequilibrio dei litorali in Campania. In: La difesa dei litorali in Italia (Aminti P.L. & Pranzini E. eds.). Edizioni delle Autonomie, Roma: 175-194

Cocco E., de Magistris M.A, Efaicchio M.T. & Boscaino F. 1992. Geoenvironmental features on the Sele river plain littoral (Gulf of Salerno, southern Italy). *Bollettino di oceanologia teorica ed applicata,* Voi X, N. 2-3-4: 235-246.

Cortemiglia G.C. 1986. Dinamica dei sedimenti alla foce del Coriglianeto (Golfo di Taranto). In: Evoluzione dei litorali. Atti Convegno ENEA del 16-17/10/1986, Policoro (Matera): 117-160.

De Magistris E. 1991. Problemi topografici del litorale Velino. In: Fra le coste di Amalfi e di Velia. Contributi di storia antica e archeologia. *Quad. del Dip. di Sciente dell'Antichità,* Univ. degli Studi di Salerno, 8: 39-81.

Lippmann-Provansal M. 1987. Variations recentes du trait de cote sur le sites de Velia et Paestum (Italie Meridionale). Deplacement de rivage en Meditérranée. *Colloques internationaux C.N.R.S.*

Rizzi Zannoni G.A. 1809. Atlante geografico del Regno di Napoli.

Wright L.D. & Short A.D. 1983. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: CRC Handbook of coastal processes and erosion (Komar P.D. ed.). CRC Press, Florida: 35-64.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 351 - 358.

MARCATURA CON COLORANTE ED ETICHETTATURA: DUE METODI PER MISURARE LA CRESCITA IN BRIOZOI CALCIFICATI

Silvia COCITO, Francesca FERDEGHINI

ENEA CRAM S. Teresa, C.P. 316, 19100 La Spezia

ABSTRACT

Staining and tagging: two methods to measure growth in calcified bryozoa

Two non-destructive methods were used to monitor *in situ* growth rates of a heavily calcified bryozoan *(Pentapora fascialis),* characterising coralligenous biocenoses on rocky bottoms of Tino Island (Gulf of La Spezia). Eight colonies' growth was monitored throughout one year, from June 1995 to July 1996.

The first method utilised *in situ* Alizarin Staining, commonly used on tropical corals, but never on bryozoa. Dyeing powder was injected into polyethylene bags holding each colony. After 24 hours bags were removed. Two laminae from each colony were sampled monthly and growth was measured through a calliper.

The second method was based on 'tagging': nylon tags were inserted near the growing margin in two laminae for each colony. The distance from the tag to the margin was measured with a scale to calculate growth.

Advantages and disadvantages of the two methods are discussed.

1. INTRODUZIONE

I briozoi rappresentano una importante componente del benthos sessile marino (Pérès & Picard, 1964; Ros *et al,* 1985) e, attraverso la costruzione di uno scheletro carbonatico, partecipano in modo rilevante ai processi di biocostruzione (Laborel 1987). Nonostante sia di notevole interesse, l'analisi degli aspetti quantitativi relativi al ruolo dei biocostruttori nel ciclo dei carbonati è ancora poco conosciuta.

Studi relativi al tasso e alla dinamica di accrescimento di alcuni briozoi a scheletro massivo carbonatico sono già stati affrontati, ad esempio, attraverso l'analisi delle linee di crescita ('growth check-lines') che corrispondono all'arresto della crescita durante il

periodo invernale (Stebbing, 1971; Dyrynda & Ryland, 1982; Winston, 1983; Cook, 1985; Patzöld *et al,* 1987). Oltre a fornire indicazioni sulla stagionalità di crescita, il conteggio delle linee presenti su tutta la superficie della colonia può essere utilizzato per determinare l'età del campione (Stebbing, 1971;.Patzöld *et al,* 1987; Barnes, 1995). Tale analisi non è però applicabile in colonie provenienti da mari caldi o temperati, in quanto in tali aree temperatura e condizioni trofiche non provocano arresto della crescita.

Altre metodiche hanno permesso di stimare la crescita in colonie massive carbonatiche, ad esempio attraverso l'analisi degli isotopi dell'ossigeno incorporati nella porzione scheletrica *(Pentapora foliacea:* Patzöld *et al,* 1987). Una tecnica di marcatura è stata utilizzata su un briozoo antartico a scheletro membranaceo *(Alloeflustra tenuis):* tramite inserzione di etichette sul margine in crescita della fronda è stato possibile misurare nel tempo l'incremento di crescita (Barnes, 1995).

Sulla specie oggetto di studio *(Pentapora fascialis)* è già stato sperimentato l'impiego di tecniche fotografiche per analizzare la dinamica di crescita (Sgorbini *et al*., 1996; Cocito *et al,* 1997a); tali tecniche, registrando nel tempo le variazioni bidimensionali del ricoprimento del substrato da parte delle colonie, risultano essere meno informative sulla reale misura dell'allungamento delle lamine zoariali. Si è quindi reso necessario mettere a punto un metodo non distruttivo che consenta di misurare il reale allungamento della struttura scheletrica e di eseguire repliche per lungo periodo senza modificare la dinamica di crescita.

Pentapora fascialis (Pallas) è un briozoo cheilostomo con scheletro carbonatico, costituito da una base incrostante fortemente calcificata da cui si innalzano strati bilaminari appiattiti di zoidi che formano una rigida massa carbonatica (Gautier, 1962; Hayward & Ryland, 1979; Zabala, 1986; Zabala & Maluquer, 1988). Questa specie costituisce una densa popolazione sui fondali rocciosi del lato nord-ovest dell'Isola del Tino (Golfo della Spezia) con colonie di dimensioni eccezionali (Ø 82 cm), e rappr esenta l'elemento che ne caratterizza la biocenosi coralligena (Cocito *et al,* 1995).

Per misurare la crescita delle colonie sono state sperimentate due metodiche: la prima ha previsto la marcatura con colorante vitale (Alizarina rossa), la seconda l'etichettatura delle lamine zoariali tramite inserzione di fili di nylon. L'Alizarina rossa viene incorporata negli scheletri carbonatici in formazione, precipitando come cristalli rossi-violacei (Lamberts, 1978): il colore rimane in modo stabile a indicare dove sta avvenendo la calcificazione al momento della colorazione, marcando una 'linea temporale. Il carbonato depositato successivamente si trova sopra questa linea tempo rale. Tale metodica è stata utilizzata su coralli tropicali per studi di crescita *in situ* e in laboratorio (Dustan, 1975; Buddemeier & Kinzie, 1976; Lamberts, 1978; Hudson, 1981; Dodge *et al.,* 1984; Hughes & Jackson, 1985; Schiller, 1993).

L'etichettatura delle lamine zoariali, invece, risulta una metodica innovativa relativamente al suo utilizzo su colonie di briozoi fortemente calcificate.

2. MATERIALI E METODI

E' stata monitorata la crescita di 8 colonie di *Pentapora fascialis* poste sui fondali antistanti l'Isola del Tino, tra i 12 e i 14 m di profondità. Le colonie sono state opportunamente scelte in modo da rappresentare condizioni topografiche diverse.

Per la marcatura delle lamine è stato iniettato il colorante diluito in acqua di mare (12 mg d'Alizarina rossa per litro) (Fig. 1) tramite siringhe all'interno di sacchetti di polietilene che incappucciavano le colonie e che venivano resi aderenti al fondo tramite catene.

Gli zoari sono stati mantenuti a contatto con il colorante per 24 ore. Questa prima tecnica è stata sperimentata a partire dal Giugno 1995; a scadenza mensile sono state campionate a caso due lamine da ciascuna colonia marcata. Il prelievo è stato eseguito da Giugno 1995 a Luglio 1996, con eccezione del periodo invernale, a causa delle condizioni meteomarine.

In laboratorio le lamine marcate con il colorante sono state sottoposte ad eliminazione degli epibionti tramite grattaggio con spazzolino e bisturi. Successivamente, i campioni sono stati immersi in una soluzione acquosa di ipoclorito di sodio (diluizione 4:1) che selettivamente decolora la porzione di lamina non marcata. La crescita è stata misurata tramite un calibro dalla precisione di 0,05 mm; per ciascuna lamina prelevata è stato effettuato un numero di repliche variabile in relazione alle dimensioni della lamina e alla possibilità di individuare porzioni pianeggianti con margine distale integro.

L'operazione di etichettatura è stata eseguita nel Luglio 1995 sulle medesime colonie precedentemente marcate con colorante. Fili di nylon sono stati applicati in fori effettuati presso il margine superiore delle lamine, ad 1 cm dal bordo, tramite un punteruolo (Ø 1 mm). La distanza precisa di ciascun foro dal margine libero è stata garantita accostando un distanziatore alle lamine. I fili sono stati assicurati alla lamina con nodi praticati ad entrambe le estremità. L'etichettatura è stata effettuata su due lamine per ciascuno degli otto zoari. La crescita mensile è stata misurata *in situ* tramite una asticella millimetrata quantificando la distanza dell'inserzione dei fili dal margine libero della lamina.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Tramite il metodo di marcatura con Alizarina è stato possibile ricavare il tasso di accrescimento mensile delle colonie, relativamente al periodo indagato. Infatti, nei mesi successivi alla operazione di marcatura la linea temporale è risultata ben distinguibile (Fig. 2). Dopo 10 mesi, tuttavia, le lamine non hanno mostrato traccia di colorante, talvolta difficilmente individuabile anche sulle lamine in cui la copertura da parte di

epibionti risultava consistente. E' stato infatti neccessario nell'Aprile 1996 ripetere l'operazione di marcatura usando una concentrazione maggiore di Alizarina (15 mg/1), valore limite tra quelli già utilizzati sui coralli ermatipici.

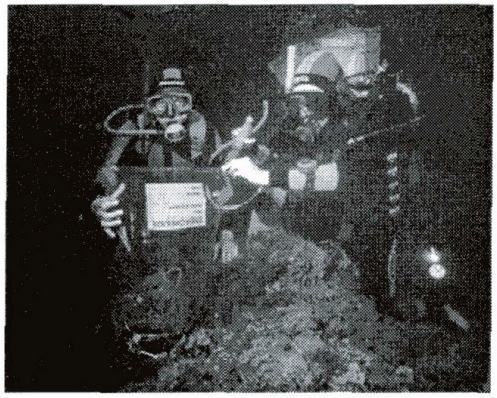


Fig. 1 - Iniezione del colorante.

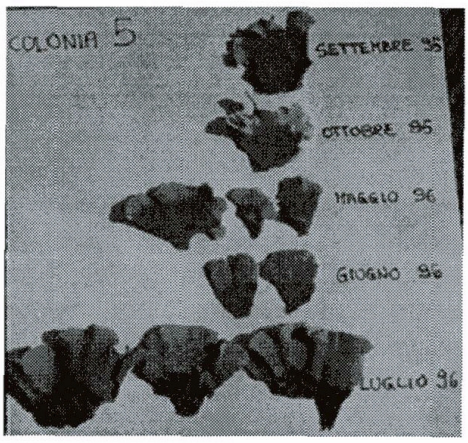
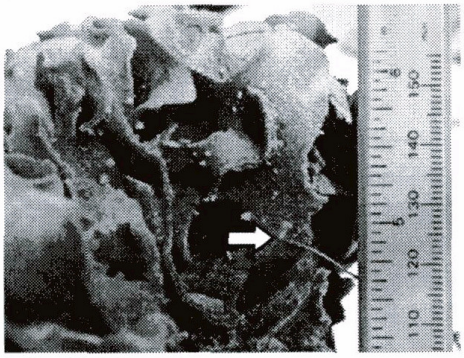


Fig. 2 - Esempi di lamine marcate.

Il metodo di etichettatura ha permesso di ricavare valori di crescita annuale delle colonie: infatti, mentre nei mesi immediatamente successivi alla etichettatura è stato possibile misurare l'accrescimento delle lamine etichettate direttamente *in situ,* dopo 9 mesi non è stato possibile individuare ed accedere alle lamine originariamente etichettate, in quanto l'accrescimento progressivo aveva portato le lamine etichettate nelle zone più interne dello zoario. In seguito a questa difficoltà operativa si è ricorsi quindi alla misura di accrescimento annuale tramite prelievo dell'intera colonia dopo un anno dalla operazione di etichettatura.

Il tasso di crescita annuale registrato differisce enormemente tra colonie scarsamente soggette ad epibiosi (Fig. 3) e colonie con evidenti fenomeni di epibiosi (Fig. 4).



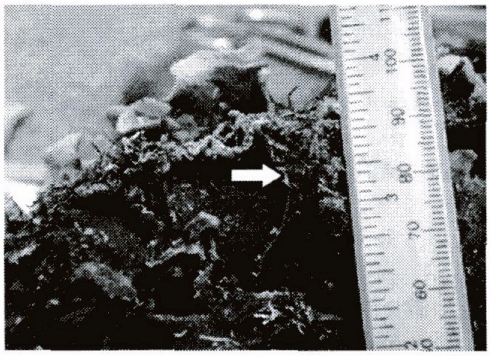


Fig. 3 - Crescita annuale di colonia senza epibionti. Fig. 4 - Crescita annuale di colonia con epibionti.

Nel primo caso l'accrescimento delle colonie risulta compreso tra 3,05 e 3,59 cm all'anno mentre nel secondo caso risulta essere di pochi millimetri all'anno (0,2-0,9 cm). L'etichettatura ha perciò permesso di rilevare l'influenza negativa degli epibionti sul tasso di crescita di *Pentapora fascialis,* fenomeno già osservato da Stebbing (1971) su *Flustra foliacea.* E' stato possibile inoltre mettere in relazione il diverso grado di ricoprimento da parte di epibionti con la diversa esposizione alla corrente: colonie posizionate in luoghi ridossati (cavità, anfratti) sono risultate maggiormente interessate da fenomeni di epibiosi.

Durante il periodo di studio il numero delle colonie marcate si è e ridotto del 50%. La scomparsa delle colonie può essere imputata più probabilmente alla frequentazione del sito da parte di subacquei e all'ancoraggio di mezzi nautici, come già evidenziato per la stessa specie da Sala *et al.* (1996), piuttosto che al disturbo meccanico provocato da forti mareggiate (Cocito *et al,* 1997b).

La tabella 1 illustra una sintesi schematica dei vantaggi e degli svantaggi delle due metodologie.

Tab. 1 - Vantaggi e svantaggi relativi ai due metodi.

	MARCATURA	**ETICHETTATURA**
OPERATIVITA'	Esecuzione rapida.	Esecuzione difficoltosa a causa della fragilità laminare.
INTERVALLO DI MISURA	Permette misure mensili di crescita prolungate nel tempo.	Non permette misure mensili prolungate nel tempo: l'accrescimento dello zoario rende difficoltoso l'accesso alle lamine etichettate.
REPLICHE DI MISURA	Permette repliche di misura su una stessa lamina.	Non permette repliche di misura su una stessa lamina.
INTERFERENZA NELLA CRESCITA	Non sembra provocare fenomeni di sofferenza o alterazione della crescita.	Fenomeni di cicatrizzazione si verificano in corrispondenza del foro e del filo.
INTERVENTI SUCCESSIVI	Deve essere ripetuta semestralmente a causa della progressiva scomparsa del colore.	Non è neccessario ripetere l'intervento.
EPIBIOSI	Non è possibile riconoscere la "linea temporale" in presenza di forte epibiosi.	E' possibile fare misure di crescita anche in presenza di forte epibiosi.

Il metodo di marcatura, oltre ad una operatività semplice, permette di effettuare prelievi ravvicinati nel tempo e perciò di ricavare informazioni sul tasso di crescita mensile. Grazie alla linea temporale è possibile eseguire più misure di crescita sulla

stessa lamina, mentre su lamine etichettate può essere effettuata una singola misura in corrispondenza del foro di inserzione.

Inoltre, la colorazione con Alizarina non sembra indurre fenomeni di sofferenza. Studi su coralli ermatipici hanno evidenziato che, dopo la colorazione con Alizarina, si può avere un lieve effetto depressivo sulla crescita nei primi sei giorni. Se le misure vengono effettuate per periodi di tempo abbastanza lunghi (come nel presente lavoro) questo effetto iniziale può essere trascurato nei risultati finali (Dodge *et al.,* 1984). Al contrario, in corrispondenza del foro praticato per l'etichettatura si sono verificati evidenti processi di cicatrizzazione, anche attorno allo stesso filo di nylon, che potrebbero influenzare la crescita.

I vantaggi offerti dall'etichettatura sono determinati essenzialmente da due aspetti: l'operazione di inserimento delle etichette viene effettuata una sola volta per uno studio di crescita annuale e rappresenta una valida soluzione per minimizzare le difficoltà nel misurare l'accrescimento indotte dal ricoprimento delle lamine da parte di epibionti.

Non è ancora noto se il prelievo e l'etichettatura di lamine possano indurre effetti sul tasso di crescita delle rimanenti porzioni di colonia di *Pentapora fascialis.* Studi sull'alterazione dei tassi di riproduzione ed accrescimento indotti da danno meccanico sono stati effettuati su *Membranipora membranacea:* colonie di tale specie appositamente danneggiate rispondono non solo accelerando il tasso di riproduzione della parte danneggiata, ma anche aumentando la crescita in zone lontano da quella danneggiata (Harvell & Helling, 1993).

In conclusione, nonostante gli svantaggi derivati dai fenomeni di epibiosi, la marcatura si è rivelata complessivamente il metodo più valido per la stima dell'accrescimento delle colonie di *Pentapora fascialis,* in quanto fornisce chiare indicazioni sulle variazioni stagionali di tale processo.

RINGRAZIAMENTI

Siamo grati a S. Sgorbini e a A. Peirano (La Spezia) per l'indispensabile aiuto fornito durante le fasi di lavoro in mare, a G. Bandiani e P.L. Ferdeghini (La Spezia) per la preparazione del poster. Si ringrazia il Prof. F. Cinelli (Pisa) per i suggerimenti forniti durante la programmazione delle attività.

BIBLIOGRAFIA

Barnes D.K.A. 1995. Seasonal and annual growth in erect species of Antarctic bryozoans. *J, Exp. mar. Biol. Ecol,* 188: 181-198.

Buddemeier R.W. & Kinzie m R.A. 1976. Goral growth. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 14: 183-225.

Cocivo S., Ferdeghini. & Sgorbini S. 1997b. *Pentapora fascialis* colonization of one sublittoral rocky site after sea-storm in the north-western Mediterranean, 32th European Marine Biology Symposium, Sweden, (submitted).

Cocito S., Morgigni M. & Sgorbini S. 1995. Morphotypes differentation as an adaptative strategy. an example in a coralligenous community. *Rapp. Comm. int. Mér Medit.,34:25.*

Cocito S., Sgorbini S. & Bianchi C.N. 1997a. Aspects of the biology of the bryozoan *Pentapora fascialis* in the north-western Mediterranean, *Mar. Biol.* (in print).

Cook P.L. 1985. Bryozoa from Ghana. *Mus. r. Afr. cent. Tervuren Belg. Ann. Ser. Octavo Sci. Zool,* 283: 1-315.

Dodge R.E, Wyers S.C., Frith H.R., Knap A.H., Smith S.R., Cook C.B. & Sleeter T.D. 1984. Goral calcification rates by the buoyant weight technique: effects of alizarin staining. *J. Exp. mar. Biol. Ecol.,* 75: 217-232.

Dustan P. 1975. Growth and form in the reef-building coral *Montastrea annularis. Mar. Biol.,* 33: 101-107.

Dyrynda P.E.J. & Ryland J.S. 1982. Reproductive strategies and life histories in the cheilostome marine bryozoans *Chartella papyracea* and *Bugula flabellata. Mar. Biol.,* 71: 241-256.

Gautier Y.V. 1962. Recherchés ecologiqués sur les bryozoares chilostomes en mediterranee occidentale. *Rec. Trav. St Mar. Endoume,* 38 (24): 163-168.

Harvell C.D. & Helling R. 1993. Experimental induction of localized reproduction in a marine bryozoan. *Biol. Bull,* 184: 286-295.

Hayward P.J. & Ryland J.S. 1979. British Ascophoran Bryazoans. In: Synopsis of the British fauna (Kermak D.M. & Barnes R.S.K. eds). Academy Press, London: 94-97.

Hudson J.H. 1981. Growth rates in *Montastrea annularis:* a record of environmental change in Key Largo coral reef Marine Sanctuary, Florida. *Bull. mar. Sci.,* 31: 444-459.

Hughes T.P. & Jackson J.B.C. 1985. Population dynamics and life histories of foliaceous corals *Ecol. Monogr.,* 55 (2): 141-166.

Laborel J. 1987. Marine biogenic constructions in the Mediterranean. *Sci. Rep. Port-Cros nati. Park,* 13: 97-126.

Lamberts A.E. 1978. Coral growth: Alizarin method. In: Coral reefs: research methods (Stoddard D.R. & Johannes R.E. eds). UNESCO, Parigi: 523-527.

Patzöld J., Ristaed H. & Wefer G. 1987. Rate of growth and longevity of a large colony of *Pentapora foliacea* (Bryozoa) recorded in their oxygen isotope profiles. *Mar. Biol.,* 96: 535-538.

Pérès J.M. & Picard J. 1964. Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Mediterranee. *Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume,* 31 (47): 1-137.

Ros J.D., Romero J., Ballestreros E. & Gili J.M. 1985. Diving in Blue Water. The Benthos. In: Western Mediterranean (Margalef R. ed). Pergamon Press., 8: 233-295.

Sala E. Garrabou J. & Zabala M. 1996. Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis. Mar. Biol.,* 126: 451-459.

Schiller C. 1993. Ecology of the symbiontic Goral *Cladocora caespitosa* (L.) *(Faviidae, Scleractinia)* in the Bay of Piran (Adriatic Sea): I. Distribution and biometry. *P. S. Z. N. I: Marine Ecology,* 14 (3): 205-219.

Sgorbini S., Cocito S. & Bianchi C.N. 1996. Underwater photography as a tool to monitor the population dynamics of a clonal organism. *Atti 11° Congresso A.I.O.L.:* 819-826.

Stebbing A.R.D. 1971. Growth *of Flustra foliacea* (Bryozoa). *Mar. Biol.,* 9: 267-273.

Winston J.E. 1983. Patterns of growth, reproduction and mortality in bryozoans from the Ross sea, Antarctica. *Bull Mar. Sci.,* 33: 688-702.

Zabala M. 1986. Fauna dels briozous dels Països Catalanos. Inst. Estudis Catalans, Arxius de la secció de ciències, 84: 401-403.

Zabala M. & Maluquer P. 1988. Illustrated keys for the classification of Mediterranean Bryozoa. *Treb. Mas. Zool. Barcelona, 4:* 115.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L, 1998
Piccazzo M. (ed.): 359 - 368.

ANALISI PRELIMINARE DEI DATI DI OSSIGENO DISCIOLTO RACCOLTI DURANTE LA CAMPAGNA LIWEX 95

Fabio CONVERSANO[1], Michele SCARDI[1], Fabrizio CAMPILI[1], Giuseppe CIVITARESE[2], Maurizio RIBERA d'ALCALÀ[1]

[1]Laboratorio di Oceanografia Biologica, Stazione Zoologica «A. Dohrn», Napoli
Istituto Talassografico di Trieste - CNR, Trieste

ABSTRACT

A major field study (LIWEX) has been conducted in the Eastern Mediterranean Sea (EMED) from January through the end of April 1995. Five vessels from different countries participated to the study, designed to cover the pre-convective, convective and spreading phases of Levantine Intermediate Water (LIW) formation in the Levantine Basin. LIW is certainly the most important water mass in the Mediterranean Sea, not only for ubiquitously occupying the Mediterranean intermediate layers but also for being the main constituent of the Mediterranean outflow that significantly contribute to the Atlantic Deep Water formation process.

Sampling carried out on board R/V *Urania,* the italian ship, covered the Rodhes Gyre region and the North-Western Levantine basin in the attempt of tracing the spreading of newly formed water masses. Oxygen concentration was accurately measured to identify recently ventilated water blobs and to distinguish between «new» and «old» water displaying similar θ-S properties.

To confidently use continuous oxygen profiles produced by the polarographic electrode mounted on the CTD probe, oxygen values from the sensor have been calibrated with more than fifteen hundred bottle data, obtained by classical volumetric analysis. For the first time, at the best of our knowledge, neural network algorithm has been applied to perform the calibration, with very promising results.

In this paper a brief description of the method used for the calibration procedure will be presented and some of interesting features in the oxygen field will be reported to emphasize the advantage of retrieving accurate oxygen data from profiling systems.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto internazionale POEM-BC (Physical Oceanography of the Eastern Mediterranean - Biology and Chemistry) è stata effettuata, nel periodo Marzo-

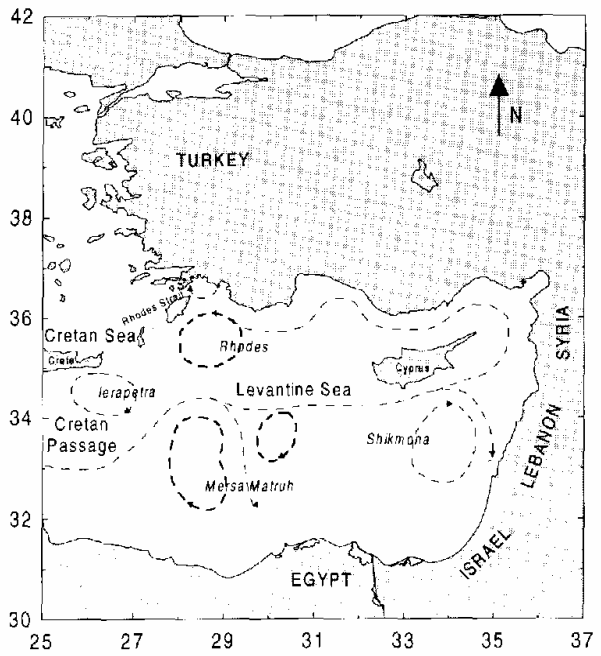


Fig. 1 - Area di svolgimento della Campagna LIWEX e principali strutture dinamiche conosciute.

Aprile 1995, una campagna oceanografica denominata LIWEX (Levantine Intermediate Water Experiment) nel bacino di Levante del Mediterraneo (Fig. 1), con la partecipazione di numerose unità operative italiane e straniere.

I principali obiettivi della crociera erano:

- l'identificazione e la successiva mappatura di siti di formazione di LIW (Levantine Intermediate Water) o di acqua profonda (Deep Water), con relativa caratterizzazione chimica e biologica per evidenziare processi sia chimici che biologici collegati ai processi convettivi;
- la mappatura estensiva dell'area del Rhodes Gyre, soprattutto nel versante occidentale, per tracciare i percorsi principali delle masse d'acqua eventualmente formatesi nel corso dell'esperimento e seguire le trasformazioni biogeochimiche al loro interno.

E' stato possibile raccogliere un numero cospicuo di dati sperimentali e la qualità dei dati raccolti a bordo è stata verificata con procedure di calibrazione ed intercalibrazione condotte insieme agli altri gruppi partecipanti.

Nei processi di formazione di acque dense ha un ruolo determinante l'aumento di densità che avviene attraverso la diminuzione di temperatura e l'aumento di salinità, ambedue determinati prevalentemente dagli scambi con l'atmosfera. Ma i valori finali di T ed S che producono un de caratteristico e sufficiente all'affondamento, il più delle volte non bastano da soli ad indicare, non solo la massa d'acqua campionata, ma anche la sua «età». Per determinare questa è necessario disporre di una grandezza dipendente dal tempo, o perché coinvolta in processi di trasformazione chimica (Nitrato, Ossigeno ecc.), o perché il suo flusso alla superficie varia in maniera nota con il tempo (radionuclidi, freon, ecc.). L'ossigeno disciolto, tra queste, è una delle variabili migliori perché è relativamente facile da misurare in modo accurato, anche su un grosso numero di campioni, perché è possibile ottenere una misura continua con elettrodi polarografici montati su un profilatore CTD ed infine perché si conosce con buona approssimazione il valore iniziale della concentrazione, ovvero quello al momento dell'affondamento del corpo d'acqua, che si può assumere pari al valore di solubilità per una determinata coppia di T ed S.

Le due procedure, quella continua con l'elettrodo e quella su campioni discreti, sono di certo misure complementari. Il metodo di laboratorio garantisce infatti una

migliore accuratezza mentre il metodo puramente strumentale un'eccezionale risoluzione verticale. E' quindi molto utile poter ridurre l'errore del metodo strumentale, servendosi dei dati discreti, non solo e non tanto per la ricostruzione del campo di distribuzione in una stessa campagna (che pure potrebbe essere affetta da errori introdotti dalla deriva del sensore), quanto per la comparazione con dati precedenti o futuri che sia basata su valori il più possibile vicini ai valori veri. Le procedure abituali di calibrazione (Brechner & Millard, 1985) si basano sull'utilizzo di metodi statistici di minimizzazione degli scarti mediante minimi quadrati. In sostituzione di questi, è stata utilizzata, a nostra conoscenza per la prima volta in questo tipo di applicazione, una rete neuronale, che pur con un'architettura ed un algoritmo di *training* estremamente semplici, ha fornito risultati molto interessanti. Lo scopo di questo lavoro è di introdurre sinteticamente le caratteristiche della procedura e di illustrare alcuni aspetti del campo di distribuzione dell'ossigeno disciolto nel periodo della campagna soprattutto allo scopo di evidenziare i vantaggi di un miglioramento dell'accuratezza dei dati prodotti dal CTD.

Una più dettagliata descrizione del metodo di calibrazione e dei suoi vantaggi rispetto alle procedure esistenti sarà riportata in Scardi *et al.* (in prep.).

2. MATERIALI E METODI

Il reticolo delle stazioni di misura, effettuate con la N/O URANIA del C.N.R. durante la campagna LIWEX95, è riportato in figura 2.

I profili sono stati ottenuti impiegando una sonda multiparametrica CTD 911*/plus* della SeaBird, calibrata prima della campagna, per conducibilità e temperatura, presso il Saclant Center della Spezia. Per la raccolta dei campioni d'acqua è stato utilizzato un campionatore automatico seriale ROSETTE della General Oceanic equipaggiato con 24 bottiglie NISKIN da 10 litri ciascuna. Sono stati prelevati campioni, generalmente alle quote standard, per l'analisi di ossigeno disciolto, ed inoltre dei nutrienti (nitrati, ortofosfati, silicati) e dei pigmenti clorofilliani che non vengono però discussi in questa sede. In ogni stazione su almeno una quota è stato effettuato un controllo del funzionamento della sonda con termometri digitali a rovesciamento SIS. Inoltre sono stati prelevati campioni di acqua per la determinazione indipendente della salinità che è stata effettuata con Autosal 8400® della Guildline.

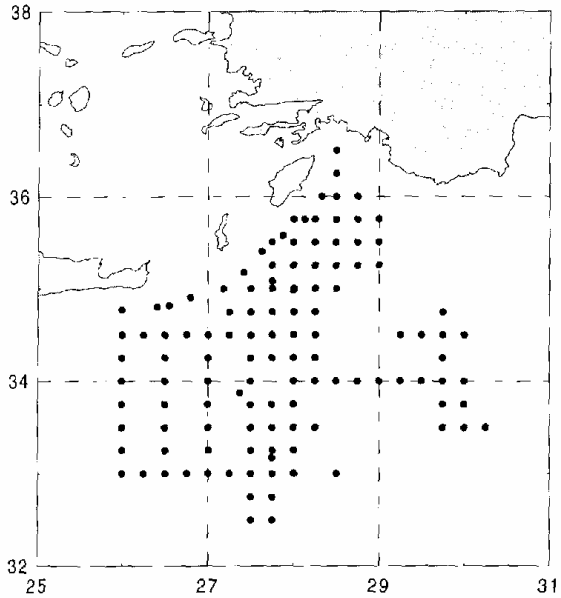


Fig. 2 - Reticolo delle stazioni campionate durante la campagna LIWEX95.

L'ossigeno disciolto è stato determinato sia con un elettrodo tipo Clark della Beckman, in cui il ricambio di acqua veniva garantito da una piccola pompa (è questa la configurazione standard della sonda SBE911/*plus),* sia con il classico metodo di Winkler. Le titolazioni sono state effettuate con una buretta automatica METROHM 716 DMS TITRINO interfacciata ad un calcolatore portatile per poter disporre, successivamente, dei dati relativi alla curva di titolazione con determinazione potenziometrica del punto equivalente.

Come sopra accennato si è fatto ricorso ad un approccio alternativo per la calibrazione e restituzione dei valori di ossigeno disciolto rispetto a quello proposto da Brechner & Millard (1985), della W.H.O.I, che si basa su una procedura di calibrazione con i dati in situ, implementata aggiungendo un termine che include la derivata dell'ossigeno disciolto con la pressione.

Questo metodo, attualmente usato dalla comunità oceanografica, si basa su un fit reiterativo ottimale di una funzione che include la maggior parte dei parametri dal quale può dipendere il funzionamento dell'elettrodo.

Quest'approccio, così come le altre procedure convenzionali di fitting non-lineare, non garantisce la minimizzazione assoluta dell'errore ed è fortemente dipendente dalla scelta dei valori iniziali dei parametri.

Si è pensato quindi di verificare l'efficacia di un metodo già testato con successo per altre applicazioni oceanografiche, in particolare per la stima della produzione primaria fitoplanctonica (Scardi, 1996), e che consente di utilizzare come variabili predittive anche termini non derivati da rapporti causali diretti con la variabile da stimare. Questa soluzione è basata sull'utilizzo di una rete neuronale di tipo *error back-propagation* a tre strati, in cui ogni strato è formato da unità di processo elementari (nodi) in qualche modo analoghe per funzione ed interconnessione a dei neuroni.

Le connessioni tra i nodi sono associate a pesi che sono iterativamente aggiustati durante il processo di training. Ogni nodo nascosto e di output è associato con una funzione di attivazione, che accetta come argomento la somma degli input del nodo e restituisce il suo output. La funzione di attivazione più comunemente usata è la funzione sigmoide, che è stata impiegata anche nel caso in esame.

L'architettura della rete utilizzata è stata di tipo 11-10-1 (nodi di input-nascosti-output). Sia lo strato di input che quello nascosto contenevano anche un nodo di bias, cioè un elemento con output unitario costante, la cui funzione è analoga a quella del termine costante di una regressione.

Ai fini del training della rete neuronale, i dati relativi a tutte le variabili in gioco sono stati riscalati in modo da essere compresi in un intervallo [0,1]. Le variabili utilizzate come inputs sono schematizzate in figura 3. Come output, ovviamente, è stata utilizzata la concentrazione dell'ossigeno disciolto.

La generalizzazione della rete, cioè la sua capacità di restituire un modello riutilizzabile piuttosto che una semplice memorizzazione delle associazioni fra i vettori di input ed i valori di output dell'insieme di dati usato per il suo training, è stata ottenuta mediante una procedura di cross-validation.

In questo tipo di procedura la calibrazione e la validazione della rete vengono effettuate su due sottoinsiemi indipendenti estratti a caso per ogni ciclo di training.

Sempre a questo fine, per ogni ciclo di training i dati sono stati modificati con l'aggiunta di rumore bianco, rappresentato da un valore casuale con distribuzione uniforme nell'intervallo [-0.05,0.05].

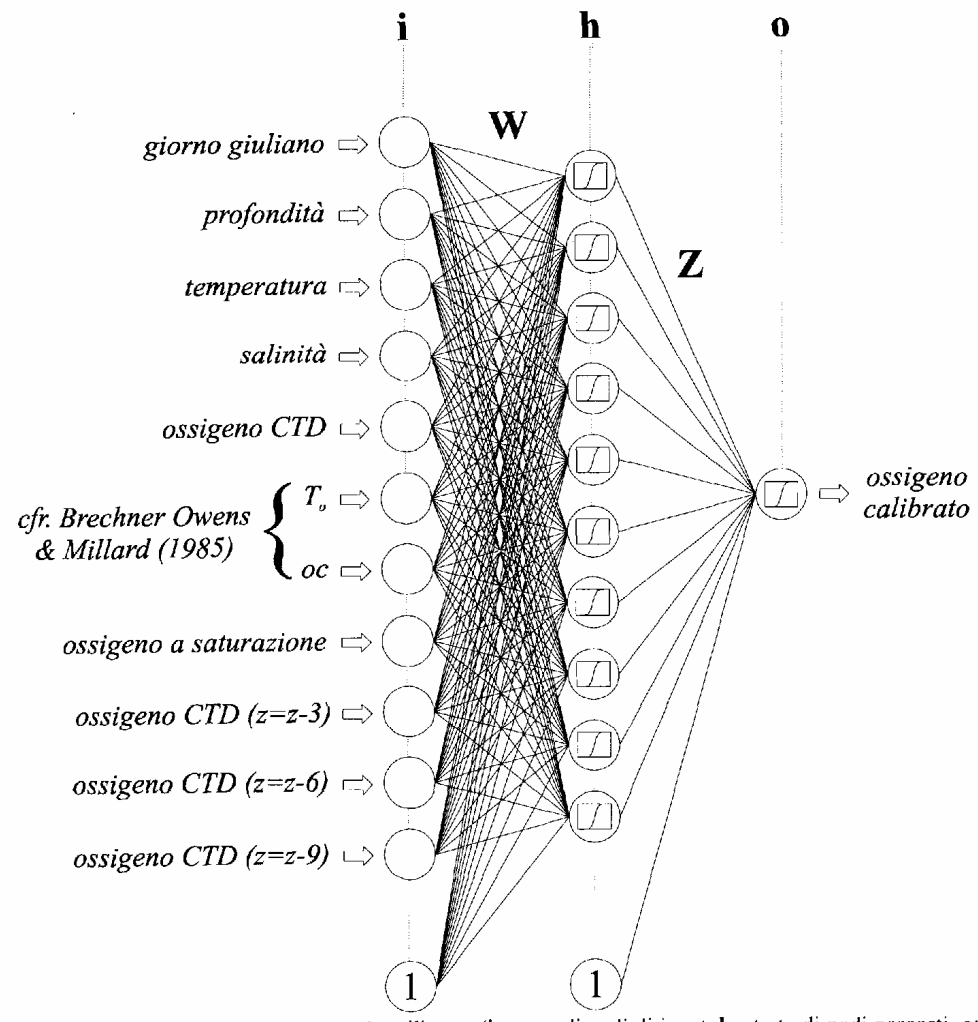


Fig. 3 - Architettura della rete neuronale utilizzata (**i**: strato di nodi di input, **h**: strato di nodi nascosti, **o**: nodo di output, **W e Z**: pesi sinaptici, **1**: nodi di bias).

La procedura di training è stata iterata fino alla stabilizzazione dell'errore ed è stata ripetuta più volte. Per la calibrazione dei profili di ossigeno disciolto è stato quindi utilizzato l'insieme di pesi che ha fornito il minimo errore quadratico.

Tutti i profili di ossigeno sono stati quindi ricalibrati fornendo ciascun vettore di input ad una rete neuronale dotata del set ottimale di pesi e calcolando l'output ad esso associato.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Calibrazione dei dati del CTD

Per quanto riguarda l'acquisizione in continuo dell'ossigeno con la SBE 911*plus,* sono stati registrati e memorizzati su calcolatore i dati relativi sia alla discesa (down-cast) che alla risalita (up-cast), ed inoltre in fase di elaborazione dei dati acquisiti, è stato determinato il valore di ossigeno disciolto in corrispondenza della chiusura della bottiglia NTSKIN, utilizzando la procedura ROSSUM del SEASOFT (software di gestione della sonda SBE).

Un'analisi visiva della corrispondenza dei valori ottenuti con le due procedure, mostra un'eccellente correlazione.

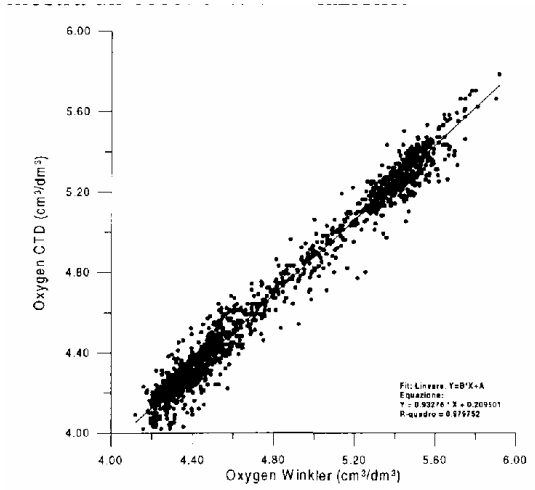


Fig. 4 - Grafico dei valori dell'ossigeno disciolto misurato con l'elettrodo rispetto ai valori determinati con la titolazione.

Un primo scatter plot dei dati Winkler contro i corrispondenti dati ROSSUM è riportato in figura 4.

Al fine di ottenere il miglior accordo possibile tra i dati Winkler e quelli CTD, è stato effettuato un meticoloso controllo su ogni singolo profi lo, per evindenziare eventuali errori di campionamento, errata chiusura delle bottiglie o errori analitici.

Confrontando inoltre i due profili si è visto che l'80% delle volte in cui era evidente una certa differenza tra i due valori, questa era dipesa da una errata sequenza di chiusura delle bottiglie NISKIN sul Rosette, confermata dal controllo effettuato sui campioni di salinità prelevati sugli stessi campioni discreti. Appurato ciò è stato risistemato il profilo, riposizionando i valori di ossigeno alle quote reali.

Si è proceduto, quindi alla costruzione della matrice dati, estraendo i valori dell'ossigeno disciolto dai profili CTD, sulla base delle quote di campionamento. Inoltre sono stati ricavati con il SEASOFT i valori relativi ai parametri fondamentali per il calcolo della concentrazione di ossigeno disciolto CTD (OxT, OxC, dOxC/dt,OxSat), più i valori di ossigeno CTD corrispondenti alle precedenti 9 quote rispetto a quella di campionamento, per osservare il comportamento e per poter risolvere i problemi di ritardo nel tempo di risposta del sensore.

Dall'applicazione della rete ai singoli profili è stato ottenuto il dato ricalibrato (Fig. 5).

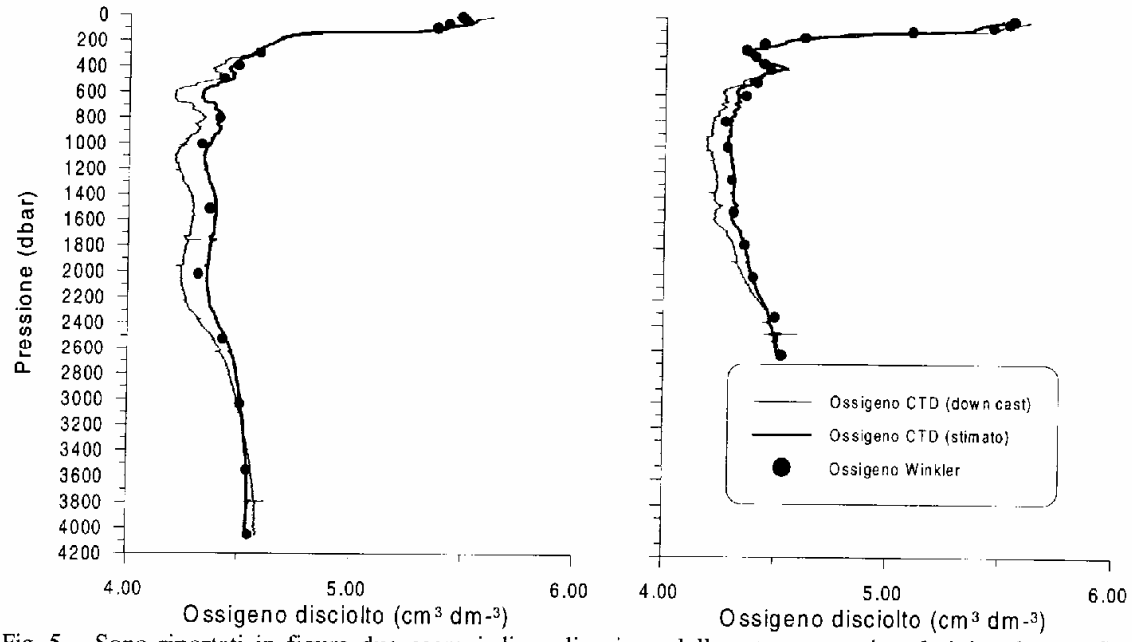


Fig. 5 – Sono riportati in figura due esempi di applicazione della rete neuronale relativi a due profili effettuati durante la campagna LIWEX95.

3.2. Utilizzo del segnale dell'ossigeno per lo studio della dinamica *in situ*

Durante la prima fase dell'esperimento condotta dalla N/O «Meteor» nel gennaio 1995 due aspetti, per qualche verso non centrali all'obiettivo dell'esperimento, si sono mostrati in enorme evidenza. La presenza di un grosso volume di acqua relativamente di nuova formazione negli strati profondi del bacino levantino che suggeriva un cambiamento significativo nelle caratteristiche dell'acqua profonda del Mediterraneo Orientale (EMDW), fenomeno illustrato da Roether *et al.* (1996) e la presenza di un una struttura a camino ben sviluppata avente caratteristiche di massa d'acqua profonda, meno salata e più fredda (θ=14.3 °C, S=38.95 psu, σ_θ=29.15 kg-m-^{3}), con uno spessore massimo di circa 800 m, che è una situazione favorente un processo convettivo, al centro del Rhodes Gyre (Malanotte-Rizzoli *et al.,* 1996).

Ambedue i fenomeni non sono direttamente collegati al processo di formazione di un'acqua intermedia come la LIW, anche se certamente è possibile speculare sul rapporto tra questi processi e la formazione della LIW.

Come detto in precedenza la comparazione dei valori della concentrazione di ossigeno nella successione temporale del campionamento è un indicatore utilissimo per ricostruire la dinamica. Va notato che nella stazione posizionata a 35° di Latitudine e a 28.5° di Longitudine, la struttura verticale della colonna d'acqua, come evidenziato dai dati della «Meteor», mostrava una colonna praticamente isopicna, ma con un gradiente verticale di ossigeno interrotto da un massimo sub-superficiale nello strato tra 450 e 700 metri, pari a 4.60 cm^3-dm-^{3}, rispetto all'intorno con concentrazioni di 4.28 cm^3·dm^{-3}.

Il massimo sub-superficiale potrebbe essere derivato dal progressivo mescolamento di un'acqua recentemente ventilata, oppure da un *blob* di acqua più giovane, rispetto alla EMDW immediatamente sottostante, caratterizzata dalla coppia di

valori θ=13.60 °C, S=38.75 psu. Successivamente la struttura a forma di camino è stata ritrovata, in una posizione molto vicina dalla nave turca «Bilim» in Febbraio, in particolare su due stazioni distanti circa 30 miglia. La struttura si differenziava, però, per due aspetti. La presenza di una leggera stratificazione superficiale (30-50 m), che suggerisce la formazione di un «cappello» al camino convettivo e uno strato omogeneo al di sotto di questo con valori di ossigeno intorno a 4.97 $cm^3 \cdot dm^{-3}$ in una stazione e 4.70 $cm^3 \cdot dm^{-3}$ in un'altra. Il processo di chiusura superficiale si intensifica ulteriormente al procedere della stagione calda. Infatti durante la prima fase della campagna della nave italiana «Urania», in marzo, le caratteristiche del «camino» rilevate erano di θ=14.7 °C, S=38.95 psu, σ_θ=29.10 $kg \cdot m^{-3}$ con una variazione della densità superficiale dovuta unicamente alla temperatura. L'interno omogeneo della struttura si estendeva da 200 m a circa 600 m, con valori al *core* di θ=14 °C, 8=38.85 psu, σ_θ=29.15 $kg \cdot m^{-3}$. Il core del «camino» al di sotto della stratificazione superficiale è caratterizzato da un minimo di ossigeno (-4.40 $cm^3 \cdot dm^{-3}$), il cui valore è superiore a quello della EMDW ma rappresenta il minimo riscontrato nella serie temporale. Questa successione di eventi è stata schematicamente riportata da Malanotte-Rizzoli *et al.* (1995) ed è attualmente oggetto di analisi. Quello che si vuole sottolineare in questa sede è la necessità, per ben comprendere la dinamica, di disporre di valori di ossigeno che siano il più possibile accurati e quindi confrontabili, non solo per i campioni discreti ma anche per il sensore del CTD, che è l'unico che consente di effettuare una consistente analisi volumetrica. Infatti in presenza di particolari strutture della colonna d'acqua, come quelle riportate in figura 5, risulterebbe difficile descrivere l'andamento reale dell'ossigeno disciolto, considerando le sole quote discrete che possono essere campionate con le bottiglie. Potendo invece disporre del profilo continuo oppurtunamente ricalibrato, si ha la possibilità di poter avere a disposizione i valori relativi a tali strutture, potendo disporre in questo modo di un descrittore aggiuntivo a quelli più strettamente fisici di temperatura e salinità.

Rispetto alle distribuzioni osservate si può sinteticamente ipotizzare che esse descrivono una successione di fenomeni convettivi non necessariamente verticali, ma più probabilmente aventi luogo sulle isopicne e che quindi i *blob* osservati siano delle sezioni trasversali ai flussi di acqua.

Va rilevato che in questo caso le differenze assolute delle concentrazioni di ossigeno disciolto nella successione di campionamenti da Gennaio a Marzo, sono certamente superiori all'errore medio della misura effettuata con il metodo di Winkler, che di solito viene assunto come pari a 0.02 $cm^3 \cdot dm^{-3}$, ma è molto simile a quello riscontrato tra l'elettrodo ed il metodo di Winkler.

Un discorso analogo può essere fatto per le distribuzioni e i movimenti orizzontali delle masse d'acqua che di solito vengono fatte utilizzando le superfici isopicne. Volendo mappare una variabile discreta sulle isopicne è necessario procedere per interpolaziene. Questo comporta intuibili errori quantitativi, sia per l'estensione orizzontale di un certo valore, che, come detto, per il suo spessore verticale. In figura 6 riportiamo per la stessa struttura la distribuzione dell'ossigeno sulla isopicna 29.17 kg m^{-3}, che corrisponde alla densità immediatamente superiore a quella della LIW, ma

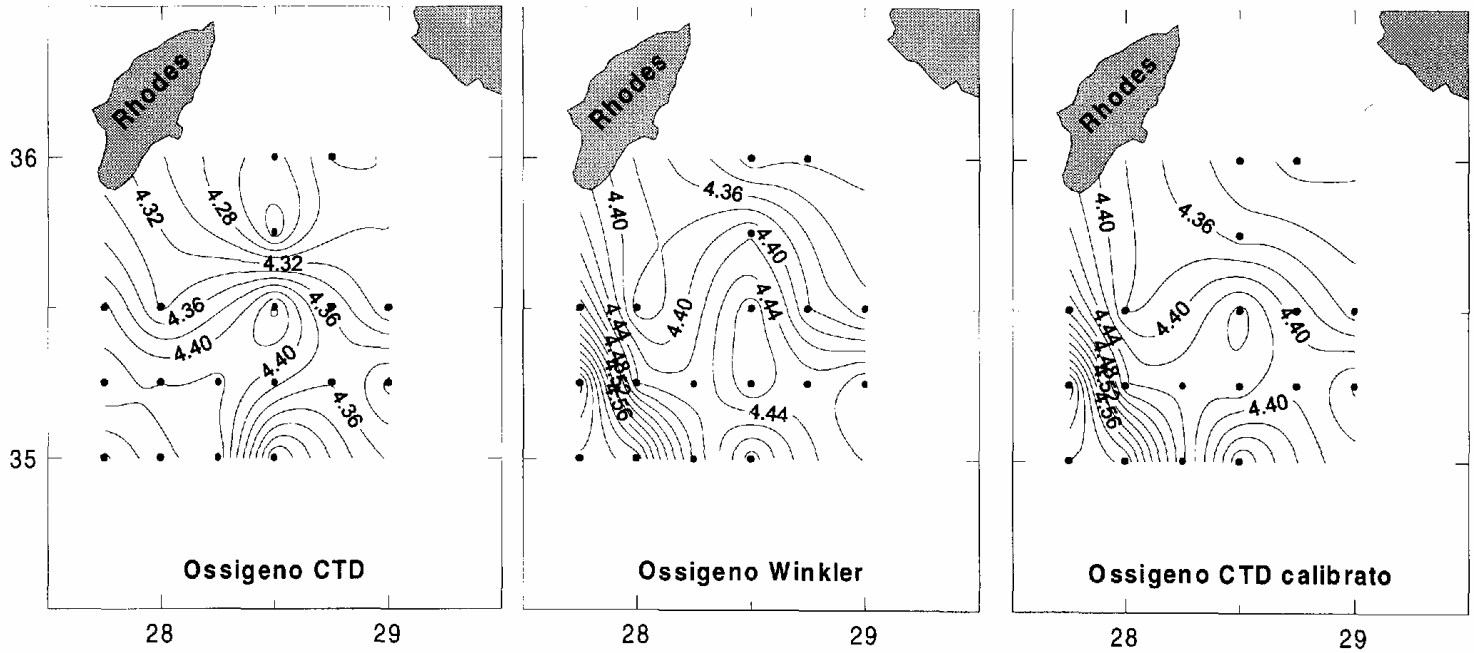


Fig. 6 – Distribuzione dell'ossigeno disciolto sull'isopicna 29.17 kg•m^{-3}. Isolinee ogni 0.02 cm^{3}•dm^{-3}.

probabilmente corrispondente a quella dell'acqua formata in un eventuale processo di convezione profonda all'interno del «camino».

Come già anticipato una completa ricostruzione del volume di acqua formato, della sua penetrazione in verticale e della sua dispersione orizzontale è oggetto di un'analisi in corso, ma questa non potrà fare a meno dei dati provenienti dai sensori dei profilatori, i quali a loro volta necessiteranno di un tipo di calibrazione almeno accurata quanto quella proposta in questo contributo.

4. CONCLUSIONI

Per la prima volta viene illustrata un'applicazione di un algoritmo tipo rete neuronale per la calibrazione di dati oceanografici provenienti da sonde automatiche. Questo metodo ha garantito una risposta circa due volte più efficiente nella riduzione dello scarto tra i valori misurati dalla sonda e quelli presunti veri, e ha consentito quindi di disporre di dati in continuo significativamente più accurati di quelli normalmente disponibili con le stesse procedure di misura. A sua volta questo consentirà una migliore ricostruzione di un processo estremamente importante quale la formazione e la quantificazione di acqua densa, che ha un ruolo essenziale, sia come indicatore di variabilità climatica, che come motore della circolazione Mediterranea e più in generale di quella Atlantica.

BIBLIOGRAFIA

Brechner W.O. & Millard R.C. Jr. 1985. A new algorithm for CTD Oxygen calibration. *Journal of Physical Oceanography,* Vol. 15: 621-631.

Malanotte-Rizzoli P. & Manca B.B Editors. 1995. POEM - Levantine Intermediate Water EXperiment. *Survey Technical Report.*

Malanotte-Rizzoli P., Robinson A.R., Roether W., Manca B.B., Bergamasco A., Brenner S., Civitarese G., Georgopoulos D., Haley P.J., Kontoyannis H., Kress N., Latif M.A., Leslie W.G, Oszoy E., Ribera d'Alcalà M. & Teocharis A. 1996. Experiment in Eastern Mediterranean probes origin of deep water masses. *EOS,* 77: 305-306.

Roether W., Manca B.B., Klein B., Bregant D., Georgopulos D., Beitzel V., Kovacevic V. & Luchetta A. 1996. Recent changes in the Eastern Mediterranean deep water. *Science,* 271:333-335.

Scardi M. 1996. Artificial neural networks as empirical models for estimating phytoplankton production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 139: 289-299.

Scardi M., Conversano F. & Ribera d'Alcalà M. In prep. A new method for calibration-validation of oxygen data collected with CTD oxygen probes.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L, 1998
Piccazzo M. (ed.): 369 - 376.

DISTRIBUZIONE DELLE BIOMASSE MICROBICHE E DEL PARTICELLATO ORGANICO NEL GOLFO DI CASTELLAMMARE (TRAPANI)

Rosabruna LA FERLA, Marcella LEONARDI, Antonina ALLEGRA, Giovanna MAIMONE, Lucrezia GENOVESE

Istituto Sperimentale Talassografico, CNR Messina

ABSTRACT

In the framework of a multidisciplinary programme, a study on the hydrobiological features of the Gulf of Castellammare (TP) was performed. The research, carried out from 1993 to 1995 in four seasonal oceanographic surveys, was addressed at defining the trophic conditions of this environment, with the aim of exploiting the area for mariculture activities.

In this paper, the results relating to bacterial and microbial biomass (derived from AODC and ATP determinations) and particulate organic carbon are reported. The obtained data showed a moderate trophism in the study area, making the exploitation of the Gulf of Castellammare a feasible development.

1. INTRODUZIONE

Il Golfo di Castellammare è un sistema complesso comprendente un settore oligotrofico ad Ovest, un bacino distrofico ad Est ed una zona centrale caratterizzata da condizioni intermedie (Genovese, 1996).

Gli studi effettuati sulle caratteristiche geologiche e sedimentologiche del bacino hanno evidenziato fondali rocciosi nei settori laterali e granulometria decrescente nella zona centrale (Riggio, 1987). La torbidità spesso elevata delle acque è dovuta al rimescolamento dei sedimenti fini e dei detriti trasportati dai corsi d'acqua. Lo sfruttamento della fascia costiera centrale del Golfo per la maricoltura e molluschicoltura è stata in passato già ipotizzata in seguito ad indagini svolte da Riggio *et al.* (1992 e 1994). Per una corretta gestione delle risorse ambientali del Golfo di Castellammare è stato effettuato un programma di ricerca multidisciplinare al fine di definirne le caratteristiche trofiche.

In questo lavoro vengono riferiti i risultati dello studio sulle biomasse microbiche e sul particellato organico, i cui valori possono fornire chiare indicazioni sul pool di materia organica presente in sospensione e sulle interazioni esistenti tra gli anelli più bassi della catena trofica nell'ambiente indagato.

2. MATERIALI E METODI

Nell'arco del biennio 1993-95, sono state effettuate 4 campagne di prelievo con cadenza stagionale (Novembre, Giugno, Marzo e Agosto) a bordo della M/N Copernaut Franca. In particolare, le campagne di prelievo sono state condotte nei seguenti periodi: 30-31 Ottobre 1993 (campagna autunnale); 8-9 Giugno 1994 (campagna primaverile); 17-18 Marzo 1995 (campagna invernale); 4-5 Agosto 1995 (campagna estiva).

I campionamenti di acqua di mare sono stati effettuati in 9 stazioni costiere (0.7 miglia dalla costa), alle quote di 0 e 20 m di profondità (Fig. 1).

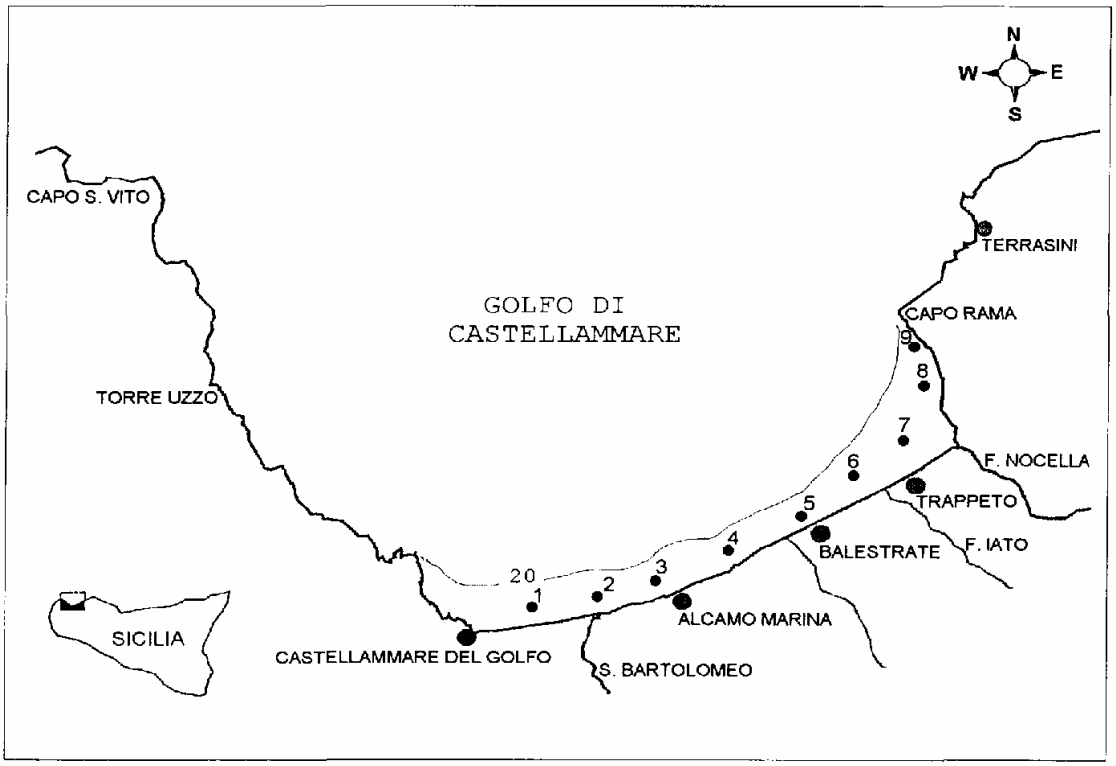


Fig. 1 - Ubicazione delle stazioni di prelievo.

Le quantificazioni del batterioplancton totale e fototrofo sono state effettuate mediante conteggio diretto delle cellule con microscopia ad epifluorescenza. Per il conteggio totale (AODC), le cellule sono state previamente colorate con Arancio di Acridina (AO) seguendo la procedura dell'ASTM (1985) e osservate col seguente set di filtri: BP 450/490, FT 510, LP 515. Le densità cellulari sono state convenite in biomassa (come C) utilizzando il fattore di conversione di 20 fg C/cellula (Ducklow e Carlson, 1992). Le cellule fototrofe (AUTO) sono state determinate col set di filtri così composto: BP 485/20, FT 510, FP 520 (La Feria e Crisafi, 1991).

L'ATP microbico è stato valutato mediante la metodica di Holm-Hansen e Paerl (1972) con estrazione del nucleotide in TRIS-EDTA bollente. La conversione dell'ATP in C è stata effettuata utilizzando il fattore di conversione di 250 (Karl, 1980). Inoltre, è

stata valutata l'incidenza percentuale degli organismi di taglia dimensionale compresa tra 250-10 µm (micro-), 10-2 µm (nano-) e 2-0.2 µm (pico-plancton).

La determinazione del contenuto in carbonio organico particellato (POC) è stata eseguita mediante l'analizzatore automatico CHN-Perkin Elmer 2400, utilizzando l'acetanilide come standard, seguendo la metodica di Hichell (1984).

3. RISULTATI

I risultati delle determinazioni microbiologiche relative ai conteggi delle cellule del batterioplancton totale (AODC) e dei microorganismi fototrofi (AUTO), hanno raggiunto concentrazioni poco elevate, mediamente nell'ordine di 10^4 cell ml^{-1}. Le cariche più elevate sono state riscontrate durante la campagna autunnale, a O metri, in cui i valori si sono mantenuti quasi costantemente su 10^5 celi ml^{-1}. Di contro, le densità meno elevate (10^3 cell ml^{-1}) sono state riscontrate durante la campagna estiva a 20 metri. Gli organismi autofluorescenti hanno mostrato lo stesso andamento stagionale (Tab. 1).

Tab. 1 - Densità cellulari del batterioplancton fototrofo (A) e totale (B).

Staz.	Quota (m)	AUTUNNO A	AUTUNNO B	PRIMAVERA A	PRIMAVERA B	INVERNO A	INVERNO B	ESTATE A	ESTATE B
		cell x 10^3 ml^{-1}		cell x 10^3 ml^{-1}		cell x 10^3 ml^{-1}		cell x 10^3 ml^{-1}	
1	0	18	230	13.4	13.5	0.8	11.0	21.0	21.5
	20	15	19	0.2	7.0	5.4	6.4	5.1	17.0
2	0	19	98	6.0	12.0	7.4	12.0	20.0	20.5
	20	12	87	13.0	25.0	1.8	6.4	0.4	12.0
3	0	19	260	5.5	10.0	3.1	4.3	1.6	5.0
	20	20	110	11.0	46.2	0.5	8.7	7.4	8.6
4	0	12	370	5.6	17.1	0.7	7.9	2.9	5.0
	20	11	66	9.0	9.4	1.2	5.3	1.9	4.7
5	0	11	320	7.7	8.0	1.6	52.0	20.0	26.0
	20	12	99	8.4	10.0	0.8	18.0	0.3	5.4
6	0	19	360	1.0	26.0	5.7	17.0	20.0	20.5
	20	15	23	10.0	19.4	4.8	32.0	5.3	5.3
7	0	15	380	10.4	33.0	0.5	29.0	10.0	12.0
	20	24	94	10.0	20.2	0.5	46.0	0.2	1.8
8	0	18	320	20.0	36.5	7.2	15.0	10.0	16.0
	20	22	91	9.1	30.2	4.4	24.0	4.3	7.7
9	0	23	320	13.2	19.0	0.9	26.0	1.0	11.0
	20	22	100	9.0	32.2	0.5	8.3	3.0	16.0

Tuttavia, l'analisi percentuale della popolazione fototrofa e del batterioplancton totale, ha messo in evidenza durante il periodo primaverile ed estivo una maggiore incidenza degli organismi autofluorescenti, che hanno rappresentato in media il 49% della popolazione totale. Nel periodo autunnale ed invernale è risultato invece netto il sopravvento della popolazione propriamente batterica (Fig. 2).

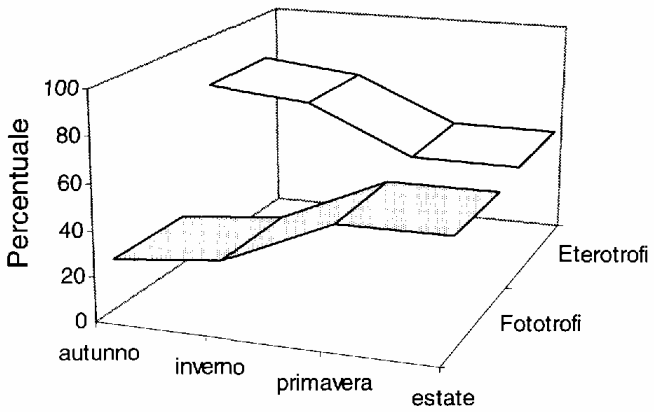


Fig. 2 - Composizione media percentuale del batterioplancton fototrofo ed eterotrofo.

I valori del pool di C riferiti alla biomassa batterica (AODC), a quella microbica totale (ATP) e al particellato organico (POC), riportati come valori integrati (0-20 m), sono rappresentati in Fig. 3.

La biomassa batterica è risultata generalmente bassa ad eccezione del periodo autunnale, dove ha raggiunto un massimo di 95 µg C dm^{-2}. La biomassa totale ha mostrato un netto innalzamento nella stagione primaverile (range 13-22 µg C dm^{-2}) con un andamento pressoché uguale lungo la colonna d'acqua. Di contro, valori relativamente elevati, sono stati registrati per lo più a 20 metri (range 5-22 µg C dm^{-2}) nel periodo invernale. Nella campagna autunnale ed estiva sono stati riscontrati valori più bassi, ad eccezione di qualche stazione.

Dall'analisi percentuale delle diverse frazioni dell'ATP sul totale, la componente microplanctonica ha mostrato una netta dominanza (90 %) nel periodo primaverile. Nel periodo autunnale ed in quello invernale, il contributo della frazione picoplanctonica ha raggiunto rispettivamente il 45% ed il 38% della biomassa totale.

L'incidenza del particellato organico ha mostrato una situazione generale di modesto trofismo, evidenziando inoltre un certo avvicendamento stagionale. In particolare, si è rilevato un andamento costante ed omogeneo durante la stagione invernale ed estiva, in cui sono stati registrati i valori più bassi, ed una più marcata differenziazione fra le acque superficiali e quelle dei 20 metri.

Localizzati incrementi sono stati peraltro rilevati in autunno, mentre nel prelievo primaverile si è registrato un generalizzato innalzamento dei valori (range 1534-2432 µg C dm^{-2}).

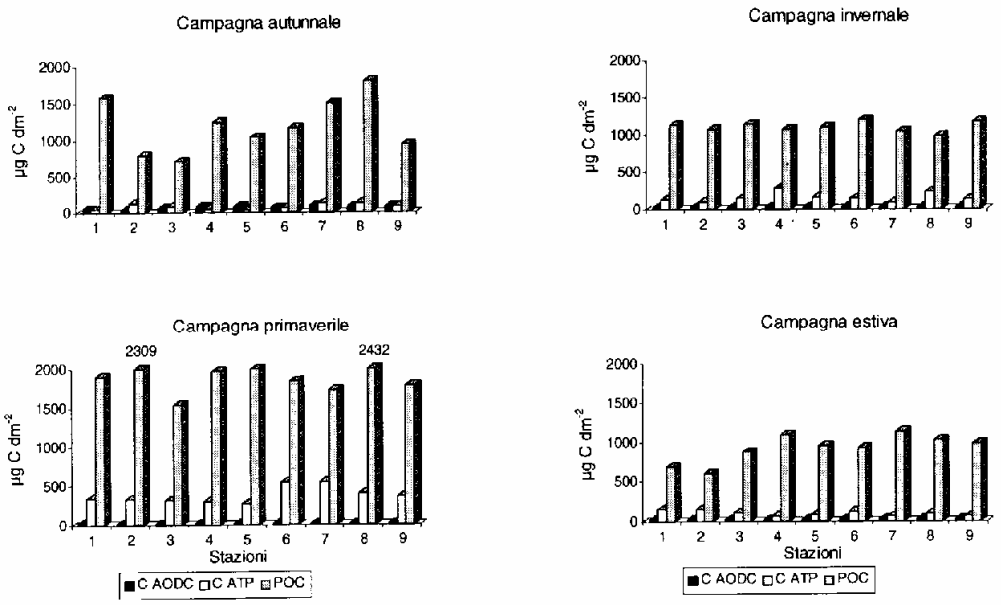


Fig. 3 - Andamento dei valori integrati di C AODC, C ATP e POC, rilevati nei quattro periodi stagionali.

Infine, i rapporti delle percentuali del C particellato, della biomassa microbica totale e del batterioplancton, hanno messo in evidenza come nel periodo di studio, la frazione detritica si mantenga costante con un minimo di 83.1% ed un massimo di 89% (rispettivamente in primavera ed estate). La frazione microplanctonica (ATP) ha mostrato valori compresi tra 6.7 e 16.5% dell'intero pool di carbonio, con la minore incidenza nel periodo autunnale ed un incremento nel periodo primaverile.

Di contro, il C della frazione batterioplanctonica (AODC) è risultato compreso tra 0.3 e 5.8% rispettivamente in primavera e autunno (Fig. 4).

4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

In generale, i risultati ottenuti hanno messo in evidenza una condizione di oligotrofia, così come riscontrato da Cortese *et al.* (in stampa). I valori relativi ai conteggi del batterioplancton totale hanno raggiunto concentrazioni poco elevate rispetto a quelli riportati in letteratura per ambienti costieri (Palumbo & Ferguson, 1978; Azam *et al.,* 1985; Suzuki, 1993). Dai dati esaminati, si è evidenziato come nel periodo primaverile gli organismi autofluorescenti abbiano una maggiore incidenza sulla popolazione totale probabilmente in relazione all'instaurarsi dei processi produttivi. Nel periodo autunnale ed invernale, è invece netto il sopravvento della popolazione

propriamente batterica in seguito al prevalere dei processi eterotrofici. In autunno anche la biomassa batterica, intesa come stima del carbonio, è risultata più elevata, probabilmente in relazione all'input alloctono provocato dalle condizioni meteomarine di quel periodo.

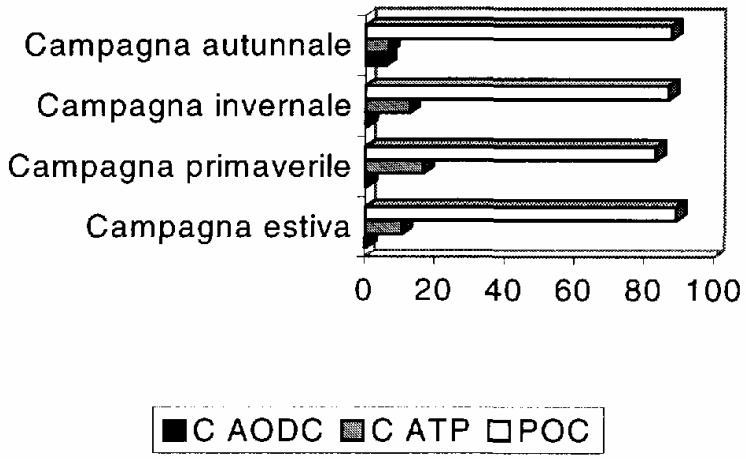


Fig. 4 - Incidenza percentuale media di C AODC, C ATP e POC, riscontrata nei quattro periodi stagionali.

Anche per quanto riguarda l'ATP, si è osservato un periodo produttivo primaverile in cui predomina la componente di maggiore dimensione, presumibilmente fitoplanctonica. A questo fa seguito una fase di senescenza nel periodo estivo, che consente lo sviluppo della frazione più piccola costituita prevalentemente da batteri eterotrofici. Ciò è confermato anche dal rapporto fra le percentuali di C particellato e di C-ATP e C-AODC, in cui si è riscontrato un rapporto inverso tra la popolazione microplanctonica e quella batterioplanctonica. L'insieme di questi risultati conferma che la struttura della popolazione microbica dipende dalla competizione esistente tra le componenti dimensionali. (Shapiro & Hugen, 1988; Giacobbe *et al.,* 1990).

In definitiva, è possibile formulare un giudizio positivo sull'area del Golfo di Castellammare. Tuttavia, l'integrazione con altre indagini relative alle condizioni idrologiche, correntometriche e sedimentologiche si rendono necessarie per definire le limitazioni e le potenzialità dell'ecosistema indagato.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro svolto con il contributo del Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali (III Piano Triennale).

BIBLIOGRAFIA

ASTM. 1985. Standards methods for enumeration of aquatic bacteria by epifluorescence microscopy counting procedure. Designation D 4455/85, Filadelfia, 11, 02: 632-634.

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.,* Vol. 10: 257-263.

Cortese G., Manganare A., Pulicanò G., Pusceddu A. & Sarà G. (in stampa). Studio delle condizioni chimico-fisiche e trofiche del Golfo di Castellammare (TP) Sicilia Occidentale finalizzato all'allevamento di *Mytilus galloprovincialis* in open-sea. Workshop Fano 21-23 Novembre 1996.

Ducklow H.W. & Carlson C.A. 1992. Oceanic bacterial production. In: Advances in Microbial Ecology (Marshall K.C. ed.), Plenum Press, New York, 12: 113-181.

Genovese L. 1996. Indagini preliminari sulla qualità delle acque nella zona costiera del Golfo di Castellammare (Sicilia N/W). *Biol Mar. Medit., 3* (1): 508-511.

Giacobbe M.G., La Feria R., Maimone G. & Crisafi E. 1990. Relationships between coccoid cyanobacteria and larger size phytoplankton. Monitoring in nearshore waters of Sicily, Italy. *Mem Biol. Mar. Oceanogr.* Vol. 18: 55-66.

Hickell W. 1984. Seston in the wadden sea of sylt (German bight, North sea). *Nertherlands Institute of sea research,* 10: 113-131.

Holm-Hansen O. & Paerl H.W. 1972. The applicability of ATP determination for estimation of microbial biomass and metabolic activity. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.,* 29suppl.: 149-168.

Karl D.N. 1980. Cellular nucleotide measurementsand applications in microbial ecology. *Microbial Review:* 739-796.

La Feria R. & Crisafi E. 1991. Preliminary study on vertical distribution of microorganisms in the Bannock Basin waters (Eastern Mediterranean sea). *Mar. Ecol. Progress. Ser.,* 75: 309-311.

Palumbo A.V. & Ferguson R.L. 1978. Distribution of suspended bacteria in the Newport River estuary, North Carolina. *Estuarine and Coastal Marine Science,* 7 521-529.

Riggio S. 1987. Ambiente e risorse nel Golfo di Castellammare. *Atti del Convegno: Il Golfo di Castellammare: un ambiente da tutelare e valorizzare,* Alcamo (TP): 21-35.

Riggio S., Chemello R., D'Anna G. & Arculeo M. 1994. Milieu côtier et ressources marines dans le Golfe de Castellammare (Sicile Nord-Occidentale). Villes des rivages et environment littoral en Mediterranee. *Actes du Colloquie des Rivages et Environment littoral en Méditerranée.* Pubbl. Maison de Environment de Montpellier: 77-81.

Riggio S., D'Anna G. & Sparla M.P. 1992. Coastal eutrophication and settlement of mussel beds in N/W Sicily: remarks on their significance. Marine Eutrophication and Population Dynamics. *Proceedings of the 25^{tk} European Marine Biology Symposium:* 117-120.

Shapiro L.P. & Haugen E.M. 1988. Seasonal distribution and temperature tolerance of Synechococcus in Boothbay Harbor, Maine. *Estuarine Coastal Shelf. Sci.,* 26 (5): 517-525.

Suzuki M.T., Sherr E.B. & Sherr B.F. 1993. DAPI direct counting underestimates abundances and average cell size compares to AO direct counting. *Limnol. Oceanogr.* 38 (7): 1566-1570.

Atti del 12" Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 377 - 386.

DATI PRELIMINARI SULLE CARATTERISTICHE IDROBIOLOGICHE DEL SISTEMA ACQUA-SEDIMENTO NELL'AREA DELLE ISOLE EGADI (CAMPAGNA OCEANOGRAFICA EGA'96)

Marcella LEONARDI[1], Filippo AZZARO[1], Alessandra BONACCORSO[1], Gabriella CARUSO[1], Franco DECEMBRINI[1], Salvatore GIACOBBE[2], Silvana JERACE[2], Dante MONDELLO[2], Luis MONTICELLI[1], Paola RINELLI[1], Nunzia Carla SPANO'[2], Renata ZACCONE[1], Emilio DE DOMENICO[2]

[1] Istituto Sperimentale Talassografico, C.N.R., Messina [2]
Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina, Università, Messina

ABSTRACT

An interdisciplinary research was carried out, during March 1997 around the Egadi Islands, to improve the knowledge on the oceanographic, trophic and sedimentologic features of this environment. Some results, relative to the more quick analysis (temperature, salinity, density, heterotrophic bacteria, proteolytic activity, bionomic and sedimentologic identification) are showed in This paper. These preliminary data led us to formulate a descriptive hypothesis about this ecosystem.

A high salinity gradient, and a marked water stratification were found, which are probably responsible for local confinement of the trophic resources in the surface layers. Therefore in the southern part, the benthic communities are very poor, but toward the northern part, organic enrichment of the substratum and remarkable benthic assemblages were recorded. In the deepest part, a generalized oligotypic condition was observed.

1. INTRODUZIONE

L'indagine in oggetto rappresenta il proseguimento di un più ampio progetto di ricerca, mirato alla comprensione degli equilibri trofico-sedimentari e dei meccanismi che regolano le interazioni fra i vari comparti biologici del sistema acqua-sedimento. Questo tipo di ricerca, di impostazione interdisciplinare ed ecosistemica, è stato già utilizzato negli anni passati, per altre aree del Mediterraneo, e si basa primariamente sull'analisi delle relazioni esistenti fra le caratteristiche idrobiologiche e trofiche della massa d'acqua, il bilancio sedimentario, e la strutturazione biocenotica del substrato (De Domenico *et al.,* 1996).

L'arcipelago delle Isole Egadi è stato scelto in relazione alle caratteristiche batimorfologiche dell'area compresa fra Marettimo, Levanzo e Favignana. Questa infatti rappresenta la porzione sommitale di un ampio avvallamento sottomarino, che collega

l'articolata piattaforma continentale della Sicilia nord-occidentale, con i fondi batiali del Tirreno meridionale (Colantoni *et al.,* 1993). Un ulteriore motivo di interesse deriva dal fatto che l'area prescelta è interessata, come il contiguo Canale di Sicilia, dall'incontro di acque superficiali di provenienza atlantica, con acque levantine intermedie, modificate (Budillon *et al,* 1996; Conversano *et al.,* 1996).

Lo studio da noi condotto nell'area delle Isole Egadi (Fig. 1) si proponeva in prima istanza di evidenziare, lungo gradienti batimetrici e laterali, uno spettro di distribuzione delle risorse trofiche dell'ecosistema, che fosse descrittivo del loro percorso spazio-temporale. Nel presente lavoro vengono esposti i risultati preliminari, forniti dagli esami più speditivi (temperatura, salinità, densità, carica batterica eterotrofica, attività esoenzimatica, identificazione bionomica e sedimentologica), che ci hanno consentito, pur nella loro essenzialità, di formulare un'ipotesi descrittiva dell'ecosistema indagato.

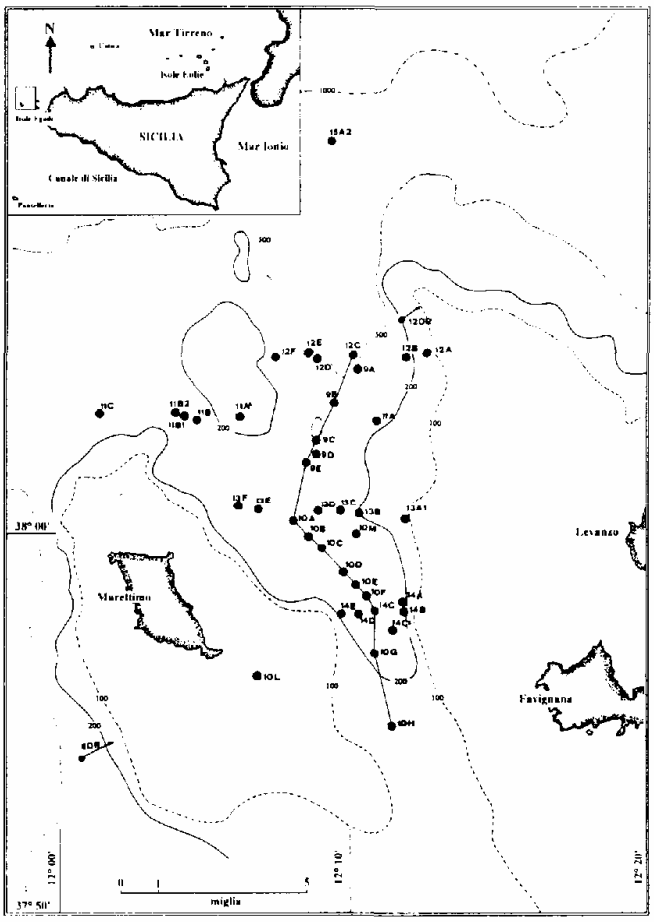


Fig. 1 - Area studiata e stazioni di prelievo.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Strategia di campionamento

La campagna oceanografica è stata eseguita con la N/O Urania dal 23 marzo al 10 aprile 1996, in corrispondenza della valle sottomarina che raccorda le piattaforme insulari di Marettimo, Levanzo e Favignana, in un range batimetrico compreso fra i 100 m ed i 900 m circa. In nove stazioni del transetto centrale (12C, 9B, 9E, 10A, 10C, 10E, 10G, 10H) sono stati eseguiti prelievi sia nella colonna d'acqua che al fondo, allo scopo di avere una visione integrata e contestuale del sistema acqua-sedimento, relativamente alle principali caratteristiche sedimentologiche ed idrobiologiche. Il reticolo è stato quindi integrato con prelievi di solo sedimento in altre 32 stazioni, in modo da realizzare uno screening di sufficiente dettaglio per l'aspetto bionomico, che esige una maggiore risoluzione.

I prelievi dei campioni d'acqua sono stati eseguiti mediante bottiglie Niskin della capacità di dieci litri ciascuna, montate su un multicampionatore di tipo Rosette. Sono state programmate mediamente cinque quote ottiche per stazione, corrispondenti rispettivamente al 100, 50, 25, 10, 1 % di radiazione solare. In ogni stazione un ulteriore campionamento d'acqua è stato eseguito a 20 cm dal fondo, con un particolare strumento di prelievo, appositamente progettato a questo scopo. I campioni di sedimento sono stati prelevati mediante benna e box-corer, rispettivamente ai fini delle determinazioni bionomiche e sedimentologico-stratigrafiche. Da ogni box-corer sono state estratte sei carote, che venivano subito aperte e subcampionate a vari strati; i dati riportati in questa sede si riferiscono al top del sedimento prelevato.

2.2. Metodiche utilizzate

Per l'acquisizione delle misure chimico-fisiche della colonna d'acqua è stato utilizzato il sistema 911 plus CTD della Sea-Bird Electronics Inc., in dotazione alla N/O Urania. Questo ha prodotto profili di temperatura, pressione, salinità, densità, conducibilità, ossigeno disciolto e fluorescenza del mare. Le misure ottenute, sono state tarate su campioni prelevati allo scopo, ed analizzati in laboratorio con i metodi in routine (Strickland & Parsons, 1972; Millero & Poisson, 1981).

Le misure scalari di PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) e fluorescenza naturale sono state eseguite con PNF-300 (profilatore di fluorescenza naturale) della Biospherical Instrument, composto da un'unità di superficie e da una subacquea. Le misure sono state effettuate fino ad una percentuale di radiazione incidente dell'I %, rilevata generalmente fra i 60 ed i 70 m di profondità.

La concentrazionc di clorofilla-a è stata ottenuta indirettamente dal rapporto tra i valori di fluorescenza naturale e quelli di radianza scalare (400-700 nm), come riportato da Kiefer & Chamberlin (1989). Il calcolo è stato eseguito considerando costanti sia il coefficiente di assorbimento specifico (0.04 mg/m^2) che il rapporto quantico di fluorescenza del fitoplancton (0.045).

La stima dell'attività esoenzimatica (BEA), relativa alla componente batterica, è stata eseguita utilizzando il substrato fluorogenico L-leucine-4-methylcoumarinyl-7-amide (LEU-MCA), che incubato per 4 ore, in opportune concentrazioni (1,5, 10 e 20 µM), con 10 ml di campione, viene scisso nel composto fluorescente MCA. La

fluorescenza è stata rilevata mediante lettura spettrofluorimetrica (alle lunghezze d'onda di eccitazione 380 nm e di emissione 440 nm); i valori ottenuti, sono stati convertiti, mediante l'equazione di Lineweaver - Burke, in Vmax (velocità massimale di idrolisi enzimatica), secondo il metodo di Hoppe *et al.* (1988).

Per la stima della carica batterica eterotrofica i campioni di acqua di mare sono stati seminati in superficie su piastre di Marine Agar (DIFCO). Su queste, dopo un'incubazione di due settimane a 20°C, è stato eseguito il conteggio delle colonie sviluppate.

Dai campioni di sedimento sono stati separati vari subcampioni per le determinazioni analitiche di routine. Per quanto riguarda l'analisi granulometrica, i campioni sono stati analizzati, secondo il metodo proposto da Buchanam & Kain (1971), che prevede il setacciamento meccanico del campione essiccato fino ad un diametro di 63 µm, con classi dimensionali spaziate di ½ di Φ ($\Phi = - \log_2 Ø$ mm), e la sedimentazione in colonna della frazione pelitica. I valori ottenuti sono stati elaborati, come di routine, mediante l'analisi statistica proposta da Folk & Ward (1957), ma in questa sede verranno riportati i soli valori di diametro medio (Mz).

La stima del contenuto in sostanza organica nei sedimenti è stata eseguita in accordo con il metodo proposto da Stern (1981), attraverso il peso secco delle ceneri libere. I risultati delle determinazioni analitiche sono restituiti in percento di sostanza organica sul peso secco del sedimento.

Le comunità macrobentoniche sono state studiate su campioni volumetrici di 50 litri, lavati su setacci con maglie da 1mm, secondo le metodiche classiche della scuola di Endoume (Pérès & Picard, 1964 e successive integrazioni).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Colonna d'acqua

La struttura verticale delle masse d'acqua nell'area esaminata è caratterizzata dalla presenza di acque atlantichc negli strati superficiali, con un minimo di salinità pari a 37.099 PSU (12C 0 m), e da acque di origine levantina oltre i 150 m di profondità (max = 38.704 PSU Staz. 12C - 500 m). Le due masse d'acqua sono separate da uno strato intermedio a marcato gradiente alino, che si colloca fra i 100 ed i 150 m (Fig. 2). Nonostante la posizione marginale delle Isole Egadi, rispetto alla circolazione generale del Canale di Sicilia, la stratificazione da noi rilevata è analoga a quella descritta da Manzella *et al.* (1988) per quest'area. Infatti le acque levantine modificate, all'altezza di Capo Lilibeo si biforcano in due rami, il più orientale dei quali devia verso NE, interessando l'area delle Isole Egadi (Magazzù & Andreoli, 1972).

La temperatura non mostra grandi oscillazioni fra il minimo di 13.88°C, rilevato nella stazione 10A, ed il massimo di 15.27°C della stazione 14C, evidenziando una situazione di generale omotermia.

Il picnoclino determinato dal gradiente alino si posiziona generalmente fra i 100 ed i 150 m; mentre, in corrispondenza della stazione 9E, si registra un brusco affondamento dell'isopicna di 28.8, che si sposta intorno ai 200 m di profondità.

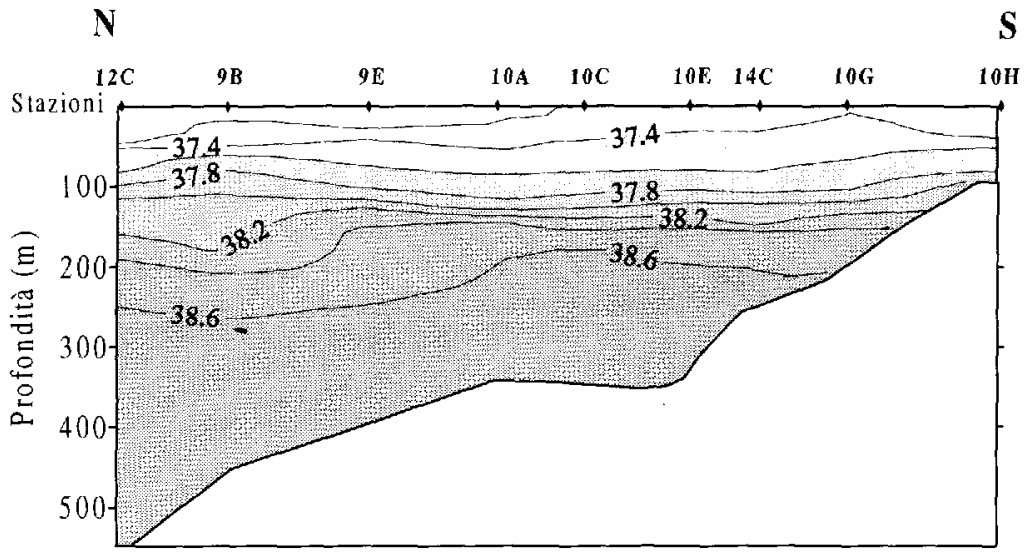


Fig. 2 - Distribuzione verticale dei valori di salinità (PSU) lungo il transetto.

Le misure della PAR evidenziano la presenza di un esteso strato euforico, che si spinge in tutta l'area esaminata fino ai 60m di profondità, dove è stato registrato l'1 % della radiazione solare (Fig. 3). Peraltro nell'estrema porzione meridionale (Staz. 10H) si rileva un'ulteriore espansione dello strato eufotico.

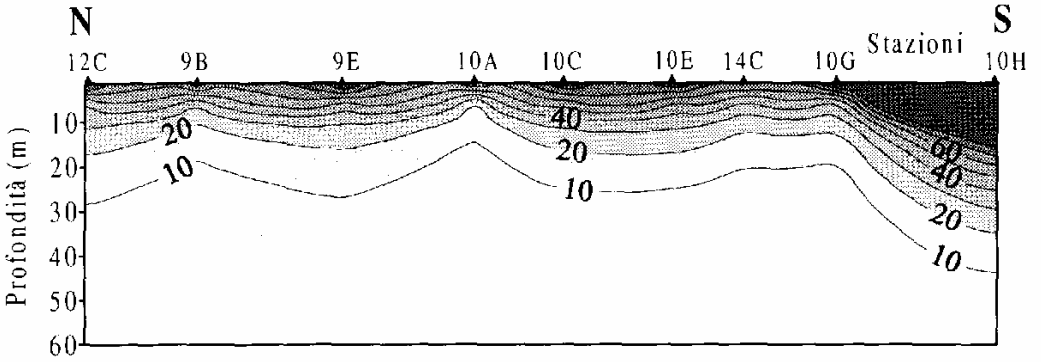


Fig. 3 - Distribuzione verticale dei valori percentuali d'estinzione della PAR lungo il transetto.

La distribuzione della concentrazione "stimata" di clorofilla evidenzia la presenza di due nuclei di addensamento fitoplanctonico (Fig. 4). Il più esteso, che presenta anche i valori più elevati (0.20-0.30 µg/l), è localizzato nella porzione meridionale del transetto, intorno ai 30 m di profondità. TI secondo, caratterizzato da valori più bassi (0.20 - 0.25 µg/l), è situato più a nord ed a quote maggiori (50 m). In entrambi i casi le più alte concentrazioni di clorofilla sono state registrate in corrispondenza di modeste percentuali di irradianza superficiale (inferiori al 20 %).

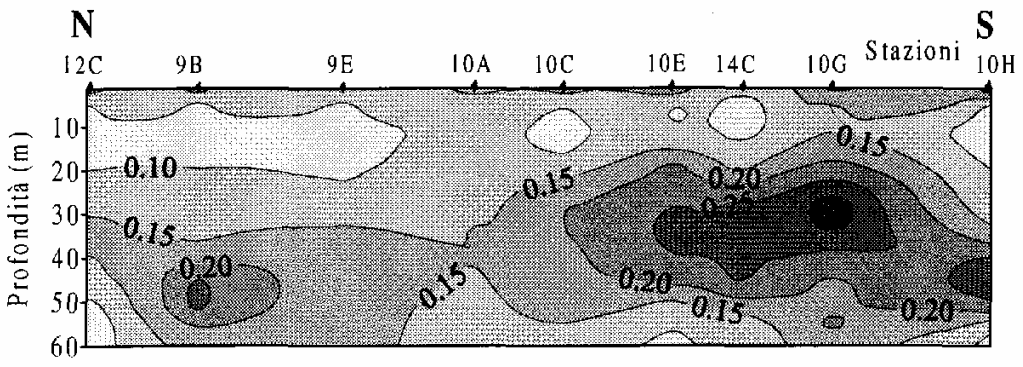


Fig. 4 - Distribuzione verticale della concentrazione della clorofilla a "stimata" (µg l^{-1}) lungo il transetto.

I livelli di attività proteasica della componente microbica risultano generalmente contenuti in tutta l'area esaminata, oscillando fra un minimo di 0.00083 µg C leu $l^{-1}h^{-1}$ (St.l0C) ed un massimo di 0.130 µg C leu $l^{-1}h^{-1}$ (St.l0E). L'andamento dei valori lungo il transetto esaminato mostra come i più alti livelli di attività siano concentrati negli strati superficiali e sub-superficiali della porzione meridionale (Fig. 5). Peraltro nella stazione 10H, caratterizzata da una ridotta profondità, tutta la colonna d'acqua è interessata da elevata attività, con un picco di 0.100 µg C leu $l^{-1}h^{-1}$, rilevato alla quota dei 50m. Procedendo verso nord, il massimo di attività si sposta più in profondità, come nel caso delle stazioni 9B e 9E, in cui i valori più elevati, rispettivamente pari a 0.0625 ed a 0.0582 µg C leu $l^{-1}h^{-1}$, sono stati registrati a 100 m. Nella stazione 12C, la più settentrionale e profonda, il massimo valore di attività è stato rilevato in prossimità del fondo (0.083 µg C leu $l^{-1}h^{-1}$).

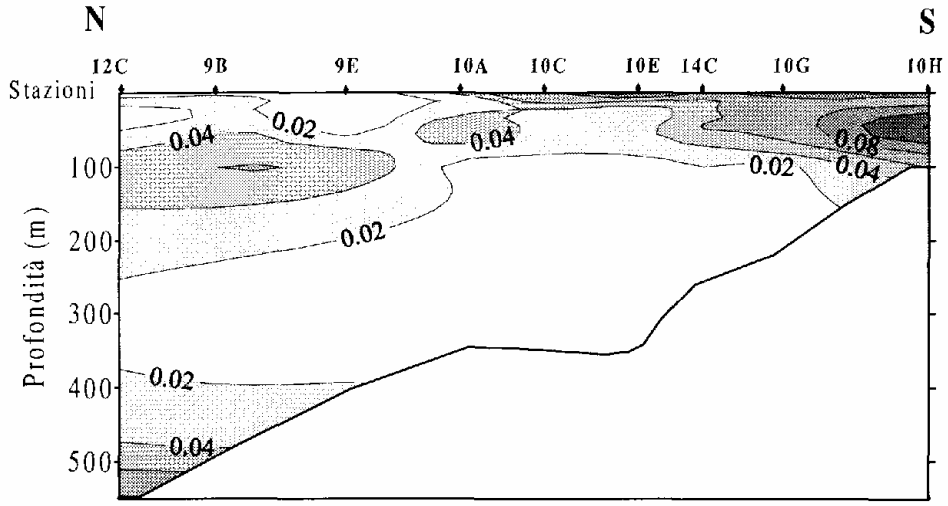


Fig. 5 - Distribuzione verticale dei valori di attività proteasica microbica (µgC l^{-1} h^{-1}) lungo i l transetto.

La distribuzione della carica batterica eterotrofica risulta notevolmente eterogenea, con il minimo di 15 CFU/ml, rilevato nella stazione 9E al fondo, ed il massimo di 7500 CFU/ml, della stazione 12C (100 m). In generale una più intensa attività eterotrofica è stata rilevata alla quota dei 100 m, soprattutto nella porzione settentrionale dell'area.

3.2. Sedimenti e benthos

La caratterizzazione trofico-sedimentaria dell'area esaminata mostra una netta differenziazione fra la porzione meridionale, con fondali prevalentemente sabbiosi ed oligotrofici, e quella centro-settentrionale, nettamente dominata da sedimenti pelitici a più elevato tenore organico (Tab. 1).

Tab. 1 - Riepilogo dei valori minimi, massimi e medi di peliti, diametro medio (Mz) e sostanza organica (S.O.) nei sedimenti.

	Peliti %	Mz Φ	S.O. %	
min	65,48	5,58	12,16	**nord**
Max	100,00	7,80	13,19	
media	85,15	6,54	12,54	
min	59,44	4,92	10,28	**centro**
Max	72,68	5,64	11,83	
media	65,91	5,25	11,01	
min	1,45	0,55	8,33	**sud**
Max	43,98	4,42	9,97	
media	24,44	2,55	9,17	

In particolare nella porzione meridionale dell'area esaminata, i valori di diametro medio (Mz) oscillano fra un minimo di 0.55 Φ (St. 10G) ed un massimo di 4.40 Φ (St. 10D), evidenziando, oltre alla eterogeneità tessiturale dell'area, la presenza di un considerevole idrodinamismo. L'incidenza di sostanza organica (S.O.) risulta piuttosto modesta, con un minimo di 3.66 %, rilevato nella stazione 14A. Nella porzione centrale si registra un calo dell'idrodinamismo, testimoniato dai più elevati valori di diametro medio (Mz), che risultano compresi fra 4.9 Φ e 5.6 Φ. La sostanza organica risulta in questa zona più abbondante, raggiungendo un'incidenza media pari a 10.99 %. Nella porzione settentrionale infine sono stati registrati i più alti valori di diametro medio, che nella stazione 12F ha raggiunto il massimo di 7.80 Φ, con un incidenza in peliti pari al

100 %. I valori di sostanza organica risultano qui più elevati che nel resto dell'area, con un massimo del 13.19 % nella stazione 12A.

I popolamenti bentonici sono risultati nell'insieme qualitativamente e quantitativamente poveri. Echinodermi, policheti e sipunculidi sono risultati i *taxa* più diffusi, anche se poco diversificati a livello specifico. Crostacei, brachiopodi e celenterati sono ben rappresentati in alcune aree circoscritte, così come i molluschi, insolitamente poco frequenti nel resto dell'area.

Nonostante la modesta ricchezza specifica complessiva, l'area indagata si presenta come un articolato insieme di biotopi biodetritici e terrigeni, che si alternano lungo gradienti batimetrici, resi talora irregolari dalla articolata topografia dei fondali. In particolare, nel settore meridionale, corrispondente alla testata della valle sottomarina, così come nella porzione più occidentale dell'area indagata, si osservano biotopi francamente biodetritici, a tessitura grossolana, in relazione al notevole idrodinamismo. Il cospicuo accumulo di bioclasti testimonia inoltre di una rilevante produzione carbonatica. I biotopi in oggetto ospitano popolamenti caratteristici del complesso delle biocenosi detritiche *(Ebalia. ssp*, *Ilia nucleus, Pitar rude mediterranea, Stilocidaris affinis);* fra queste la Biocenosi del Detritico del Largo (Pérès & Picard, 1964) appare quella meglio caratterizzata. L'elemento più rilevante è costituito dal brachiopode *Gryphus vitreus,* ben rappresentato oltre i 200m di profondità. Peraltro, nella porzione centrale dell'area esplorata, il progressivo aumento della sedimentazione fine determina la graduale rarefazione dei biotopi biodetritici. Qui i popolamenti risultano più cospicui che nel resto dell'arca, e sono principalmente caratterizzati dal crinoide *Leptometra phalangium.* Tale specie, già considerata tipica del detritico del largo (Pérès & Picard, 1964), è stata segnalata da Bourcier & Zibrovius (1973), nella testata di canyons sottomarini soggetti a correnti di fondo, fin'oltre i 300 m di profondità. Tale contesto batimetrico e morfologico è analogo a quello da noi rilevato per la *facies* in questione, per la quale Cattaneo (1981) sottolinea ulteriormente il significato di indicatrice di correnti al fondo. Nell'estrema porzione settentrionale infine, i popolamenti macrobentonici assumono bruscamente un aspetto impoverito ed oligotipico, in quanto costituiti quasi esclusivamente da sipunculidi.

4. CONCLUSIONI

L'insieme dei parametri esaminati mostra come l'area in oggetto si articoli in tre settori, che si succedono in senso latitudinale secondo una differenziazione ecologica principalmente governata dalla stratificazione delle masse d'acqua, dall'idrodinamismo e dalla morfobatimetria dei fondali.

Le acque atlantiche modificate, arricchite da apporti laterali, scorrono sullo strato del picnoclino, veicolando le risorse trofiche verso la porzione meridionale dell'area, come testimoniato dall'intensa attività autotrofica e degradativa qui rilevata. Queste risorse tuttavia, a motivo della netta stratificazione delle masse d'acqua, restano essenzialmente confinate negli strati più superficiali. Solo un modesto input organico raggiunge il substrato del settore meridionale, fortemente destabilizzato dall'intenso idrodinamismo, dove si rilevano comunità bentoniche povere e destrutturate.

Peraltro, la maggiore stabilità sedimentaria e l'arricchimento organico del substrato, rilevati nel settore centrale, favoriscono l'instaurarsi di comunità bentoniche ben adattate, che si avvantaggiano degli apporti organici veicolati dallo scorrimento delle acque levantine modificate.

Nell'estrema porzione settentrionale, in concomitanza con l'attenuazione della stratificazione termoalina, il massimo livello di attività biologica si sposta progressivamente dagli strati più superficiali verso quote maggiori (60 - 100 m). In tale settore tuttavia, a motivo dell'ampiezza della colonna d'acqua (oltre 500 m), le risorse trofiche residue che raggiungono il fondo risultano poco utilizzabili dalle comunità bentoniche, e riescono a sostenere solo modeste popolazioni di detritivori.

BIBLIOGRAFIA

Bourcier M. & Zibrowius H. 1973. Les "Boues rouges" déversées dans le canyon de la Cassidaigne (région de Marseille) observation en Soucoupe plongante SP 350 (juin 1971) et résultats de dragages. *Tethys* 4(4): 811-842.

Buchanan J.B. & Kain J.M. 1971. Measurement of the physical and chemical environment. In: Methods for the study of marine benthos (Holme N.A. & McIntyre A.D. eds.), 334 pp.

Budillon G., Moretti M. & Sansone E. 1996. Flussi nello Stretto di Sicilia dedotti da misure dirette di corrente (novembre 1993 - marzo 1994). Atti 11° Congresso A.I.O.L. (Sorrento, ottobre 1994) (Albertelli G., De Maio A. & Piccazzo M. eds.): 203-212.

Cattaneo M. 1981. Contribution a l'étude du plateau continental de la Mer Ligure et haute Tyrrhénienne. II. Echinodermata. Cahiers de Biologie Marine, Tome XXII: 11-24.

Colantoni P., Ligi M., Morsiani M.P. & Penitenti D. 1993. Morphology and recent sedimentary evolution of the western sicilian continental shelf. Geological development of the sicilian-tunisian platform. *UNESCO Reports in marine science,* 58: 93-98.

Conversano F., Corate, F. & Ribera D'Alcalà M. 1996. Considerazioni sulla variabilità della circolazione nel Canale di Sicilia. Atti 11° Congresso A.I.O.L. (Sorrento, ottobre 1994). (Albertelli G., De Maio A. & Piccazzo M. eds.): 691-699.

De Domenico E., Giacobbe S., Leonardi M., Basso D., Mondello G., Rinelli P., Sonnino M., Spanò N., Bonaccorso A. & De Domenico M. 1996. Studio integrato colonna d'acqua - sedimento nell'area meridionale dello Stretto di Messina – Primi risultati. Atti 11° Congresso A.I.O.L. (Sorrento, ottobre 1994). (Albertelli G., De Maio A. & Piccazzo M. eds.): 723-734.

Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petr.,* 27(1): 2-26.

Hoppe H.G., Kim S.G. & Gocke K. 1988. Microbial decomposition in aquatic environments: combined process of extracellular enzyme activity and substrate uptake. *Appl. Environ. Microbiol.,* 54: 784-790.

KieferD.A. & Chamberlin W. 1989. Natural fluorescence of chlorophyll a: Relationship to photosynthesis and chlotophyll concentration in the western South Pacific gyre. *Limnol. Oceanogr.* 34(5): 868-881.

Magazzù G. & Andreoli C. 1972. Contributo alla conoscenza del fitoplancton e della produzione primaria delle acque costiere siciliane (Canale di Sicilia e Tirreno Occidentale). *Mem. Biol. Mar. Ocean.,* 2(1): 1-30.

Manzella G.M.R., Gasparini G.P. & Astraldi M. 1988. Water exchange between the eastern and western Mediterranean through the strait of Sicily. *Deep Sea Res.,* 35: 1021-1035.

Millero F J. & Poisson A. 1981. International one-atmosfere of state of seawater. *UNESCO Technical Papers in Marine Science,* 38: 19-84.

Pérès J.M. & Picard J. 1964. Nuveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Ree. Trav. St. Mar. End. Marseille,* 36(52), 160 pp.

Stern J. 1981. Manual of methods in aquatic environment research. Part 8. Ecological assessment of pollution effects. *FAO Fish. Tech. Pap.,* (209), 70 pp.

Strickland D.H. & Parsons T.R. 1972. A pratical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Bull, 169,* 310 pp.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L, 1998
Piccazzo M. (ed.): 387 - 398.

ZOOPLANCTON IN MAR LIGURE D'ALTURA (DICEMBRE 1990)

Priscilla LICANDRO, Claudia VACCAREZZA, Teda SERTORIO ZUNINI

Istituto di Scienze Ambientali Marine, Università di Genova

ABSTRACT

Mesozooplankton biomass (Dry Weight, DW) was evaluated in the top 200 m of the water column at 59 stations covering the Italian sector of the Ligurian Sea, in December. The biomass ranged between 0.80-4.24 mg DW m^{-3} throughout the basin. Its distribution highlights a lower density zone (< 1.4 mg DW/m^3) in the centre-west, in correspondence to the divergence zone, and richer areas to the sides of the divergence itelf and in the eastern sector of the basin.

Vertical mesozooplakton abundance and taxa distribution from the surface to 1900 m was also examined in one station. Copepods were the dominant group throughout the 0-1900 m water column (50.100 ind/m^2) adding up to nearly 91 % of total meso-zooplankton number (54.900 ind/m^2). Over the entire 1900 m water column the copepod biomass was 0.427 mg DW m^{-2}. The top 200 m of the water column contained 78.8.% of the stock of copepods and 64.2% of the biomass of the entire water column. Biomass of copepods decreased with depth from 1.37 mg DW m^{-3} in the upper 200 m down to 0.13 and 0.06 in the underlying 200-1000 m and 1000-1900 m, respectively. The distribution of taxa in relation to depth is reported.

1. INTRODUZIONE

La biomassa dello zooplancton è un parametro biologico utile da conoscere quale indice della ricchezza di una massa d'acqua. Allo scopo di valutare la biomassa zooplanctonica nel Mar Ligure d'altura, nell'arco di 11 giorni è stato campionato lo strato eufotico (0-200 m) in tutto il bacino antistante la costa italiana.

Durante la campagna oceanografica è stata campionata anche una colonna d'acqua alta 0-1900 m per ottenere dati di distribuzione verticale dello zooplancton in considerazione del fatto che le conoscenze sul plancton profondo sono estremamente scarse per il Mar Ligure. E' noto d'altronde che una descrizione della distribuzione verticale dello zooplancton in peso e composizione delle specie fornisce elementi utili per la comprensione dei cicli biologici degli organismi e della sostanza organica nelle profondità del mare (e.g. Angel & Baker, 1982).

In questo lavoro i dati della biomassa zooplanctonica rilevati a fine autunno vengono messi in relazione all'idrologia del bacino e viene descritta la struttura verticale del mesozooplancton sulla colonna d'acqua 0-1900 m, seppure divisa in ampi strati. In tale descrizione particolare attenzione è rivolta ai Copepodi che sono i componenti dominanti del popolamento mesozooplanctonico. Proprio i Copepodi così ricchi di specie sono il gruppo di organismi che, come hanno rilevato Vaissière & Seguin (1980), con le diverse composizioni del popolamento possono indicare meglio di altri i mutamenti ambientali nella direzione verticale.

Informazioni sui Copepodi profondi del Mediterraneo si hanno da precedenti ricerche effettuate nel bacino balearico (Mazza, 1962; Vives, 1978), in Mar Ligure (Gasser, 1995), nel Tirreno meridionale (Scotto di Carlo *et al,* 1975; 1984; Vaissière & Seguin, 1980), in Adriatico (Mure & Scotto di Carlo, 1968; 1971; 1974), nel Mediterraneo orientale (Greze, 1963; Weikert & Trinkaus, 1990; Pancucci-Papadopoulou *et al.,* 1992; Weikert & Koppelmann, 1993) ed in stazioni sparse in tutto il Mediterraneo (Scotto di Carlo *et al,* 1991).

2. MATERIALI E METODI

2.1 Biomassa zooplanctonica nel Bacino Ligure

I campioni di zooplancton sono stati raccolti dalla N/O Bannock nei giorni 5-7 e 12-15 dicembre 1990 nella zona del Mar Ligure compresa tra la costa della Liguria, la Corsica e la costa toscana (Fig. 1). Le stazioni, in numero di 59, erano poste a cinque miglia l'una dall'altra su cinque transetti con direzione NW-SE ed inizio rispettivamente al largo di Imperia, Albenga, Savona, Genova e Moneglia.

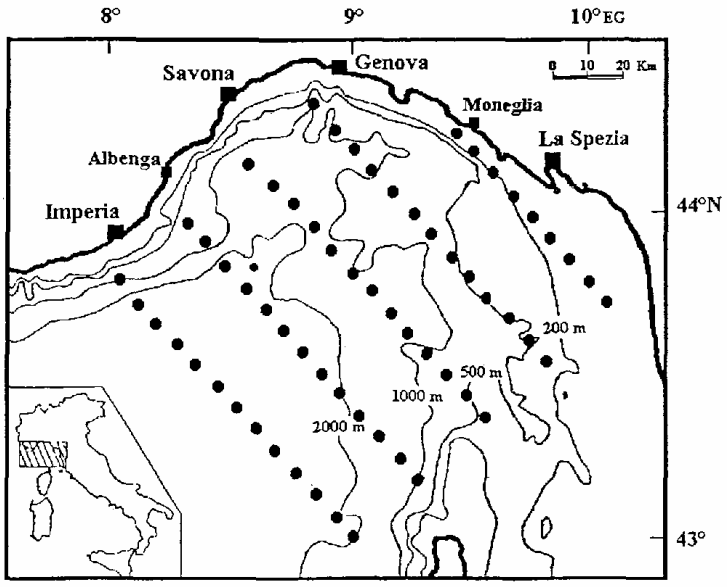


Fig. 1 - Posizione delle stazioni di campionamento.

I campioni sono stati prelevati verticalmente con rete WP2 (200 µm nello strato 0-200 m, in ore diurne e notturne, e conservati in formalina neutralizzata al 5 %. All'estremità orientale del bacino le stazioni erano sulla platea, su fondali < 150 m di profondità, pertanto i prelievi sono stati fatti su colonne ≤ 0-100 m.

In laboratorio sono stati eliminati gli organismi > 0.5 cm perché considerati macroplancton (Weikert & Trinkaus, 1990). Il restante campione è stato essiccato in termostato per la determinazione del peso secco col metodo di Lovegrove (60°C fino al raggiungimento del peso costante). Le pesate sono state eseguite con Bilancia Mettler H 54 AR (± 0.01 mg) dopo più di tre mesi dal prelievo (Bruzzone *et al.,* 1993).

2.2. Colonna 0-1900 m

Una pescata su colonna 0-1900 m è stata effettuata il 16 dicembre 1990 in una stazione ubicata a 15 miglia a sud di Savona (Staz. 63: 43° 49' 65 N - 08° 36' 58 E) su fondale di 2030 m (Fig. 1). Lo zooplancton è stato prelevato verticalmente a diverse quote con rete WP 2 (200 µm) a chiusura, munita inferiormente di un peso di 75 kg. La colonna d'acqua è stata teoricamente frazionata nei seguenti cinque strati disuguali: 0-50 m, 50-200 m, 200-400 m, 400-1000 m, 1000-1900 m. I prelievi hanno avuto luogo in successione con inizio dallo strato più profondo e sono durati dalle 14.30 alle 19.22.

Il volume d'acqua filtrato è stato stimato moltiplicando l'area della bocca per il percorso della rete. La strozzatura della rete ai livelli prestabiliti è avvenuta tenendo conto dell'inclinazione del cavo e considerando una velocità di discesa del messaggero pari a 200 m s^{-1}. A causa del vento e dello scarroccio della nave i campioni sono stati raccolti con una inclinazione del cavo compresa tra 17°- 42° nonostante la rete fosse stata appesantita. Benché si sia filato più cavo per compensare l'inclinazione e raggiungere la profondità voluta, gli strati realmente campionati sono risultati differenti da quanto pianificato e con qualche sovrapposizione. Tuttavia per semplicità nella trattazione dei risultati si farà riferimento agli strati d'acqua come originariamente stabiliti. I dati del campionamento sono riportati in Tabella 1.

Tab. 1 - Dati del campionamento sulla colonna 0-1900 m. Dicembre 1990.

Strati teorici (m)	Ora inizio	Ora fine	Inclinazione cavo gradi	Strati reali (m)	Acqua filtrata (metri cubi)
0 - 50	19:16	19:22	17°	0 - 52	13.75
50 - 200	18:46	19:09	20°-23°	51 - 204	41.25
200 - 400	18:09	18:35	25°-28°	197 - 392	54.75
400 - 1000	16:28	17:55	38°42°	384 - 973	192.25
1000 - 1900	14:30	16:11	40°	856 - 1762	295.75

I campioni sono stati conservati in formalina neutralizzata al 5 %. In laboratorio gli organismi > 0.5 cm sono stati tolti perché considerati macroplancton; essi non vengono esaminati in questo lavoro ma il loro elenco è riportato da Bruzzone *et al.* (1993). Dal restante campione diluito in 500 cc e accuratamente omogeneizzato è stata

prelevata un'aliquota per il conteggio del mesozooplancton. L'aliquota nota doveva contenere almeno 100 Copepodi, numero considerato sufficiente a caratterizzarne il popolamento (Frontier, 1972). Tutto il campione è stato successivamente esaminato sotto il binoculare per estrarre le specie rare.

Il mesozooplancton è stato classificato per grossi gruppi. Solo i Copepodi adulti e giovani sono stati classificati alla specie, quando possibile, ad eccezione del genere *Clausocalanus* le cui specie non sono state separate a motivo della loro laboriosa classificazione. In casi di incertezza gli esemplari sono stati attribuiti al genere ed i giovani classificati semplicemente come copepoditi.

Per non distruggere i campioni la biomassa in peso è stata valutata indiretta-mente e riguarda solo i Copepodi, organismi abbastanza numerosi da permettere di stabilire una relazione peso-lunghezza. I dati numerici dei Copepodi sono stati trasfor-mati in biomassa secca mediante l'equazione di regressione geometrica ottenuta dai Copepodi presenti nei campioni.

In pratica dai campioni delle cinque profondità esplorate sono stati estratti numerosi Copepodi e divisi in classi dimensionali di 0.5 mm; ogni classe era formata da un minimo di venticinque fino ad un massimo di cento-duecento organismi, secondo la dimensione e la disponibilità nei campioni. Successivamente in ogni classe sono stati contati gli organismi presenti, si è misurato il cefalotorace di ognuno e si è pesato tutto il gruppo insieme. Per ogni classe dimensionale relativa alle cinque profondità è stata calcolata la lunghezza media del cefalotorace (= media delle misure del CT di tutti gli organismi) ed il peso medio degli individui (= peso del gruppo diviso per il numero di organismi). Le pesate sono state eseguite con bilancia Mettler M3 (± 1 μg) e replicate almeno due volte.

Tab. 2 - Relazione tra lunghezza del cefalotorace (CT) e peso secco (PS) dei Copepodi prelevati in Mar Ligure nel dicembre 1990. Equazione di regressione GM, n = numero di osservazioni, r = coefficiente di correlazione, IC 95 % = intervallo di confidenza dell'inclinazione, s^2 = varianza dell'inclinazione.

Equazione di regressione	n	r	IC 95 %	s^2
$LogPS_{\mu g} = 2.9863 \, Log \, CT_{mm} + 1.0226$	26	0.99	2.8829 - 3.0933	0.0027

L'equazione ottenuta (Tab. 2) è stata utilizzata per attribuire il peso secco a tutti i Copepodi che erano stati classificati e misurati nelle aliquote; al peso secco è stato aggiunto il 30% per compensare la perdita dovuta alla conservazione in formalina (Omori, 1969). Il peso dei Copepodi nell'aliquota è dato dalla somma dei pesi di tutti i Copepodi presenti. Da questo è stato calcolato il peso del campione totale (cfr. Hopkins, 1982).

I dati ottenuti sono stati riportati a metro cubo ed a metro quadrato sulla base dell'acqua filtrata in ogni strato.

3. RISULTATI

3.1. Condizioni ambientali

Sulle 59 stazioni delle cinque trasversali la temperatura in superficie era compresa tra 13.0 e 15.9°C. Una sola volta sono stati registrati 17.0°C, nella zona del fronte al largo di Albenga.

Nonostante la limitazione imposta dalla mancanza di misure sulla colonna d'acqua è possibile osservare dalla temperatura superficiale la zona di divergenza nel settore centro-occidentale del Mar Ligure indicata da valori < 14°C. Temperature >15°C si trovano ai bordi della divergenza ed anche su molte stazioni situate ai disopra della batimetrica dei 500 m nella zona orientale del bacino (Fig. 2a).

Sulla stazione 63, ove è stata campionata la colonna 0-1900 m, la temperatura del mare in superficie era 14.5°C. Il fondale all'inizio era 2030 m ma durante le cinque ore del campionamento lo scarroccio ha spostato la nave su fondale di 2500 m. Purtroppo la mancanza della batisonda non ha consentito il rilevamento dei dati di temperatura e salinità sulla colonna d'acqua e non è pertanto possibile descrivere la struttura fisica della colonna al momento della ricerca. E' noto tuttavia che nel Mar Ligure d'altura a fine autunno un debole termoclino si trova entro i primi 100 m.

3.2. Dati biologici

3.2.1. Biomassa del mesozooplancton nel Mar Ligure d'altura

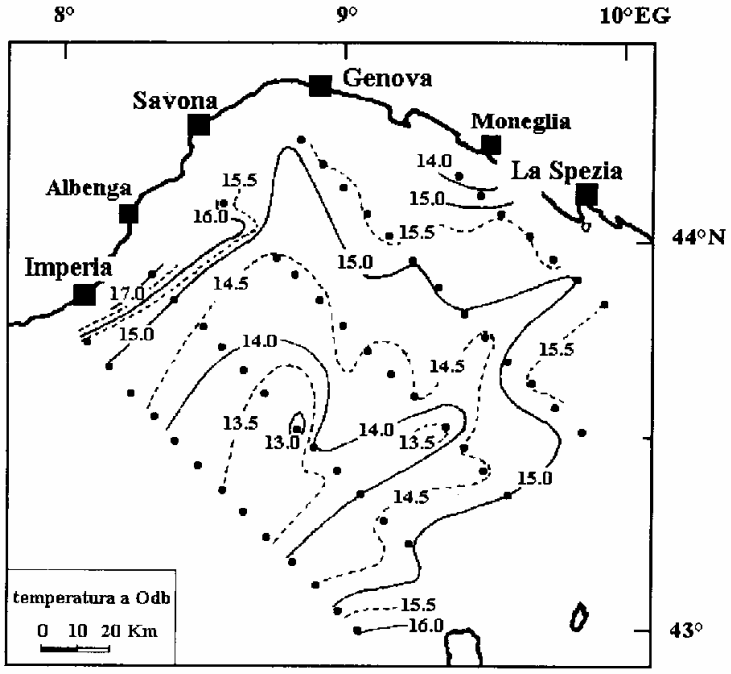
Sulle 52 stazioni d'altura (trasversali di Imperia, Albenga, Savona, Genova) i valori di peso secco del mesozooplancton nei 200 m più superficiali sono compresi tra 0.80 - 2.57 $mg.m^{-3}$. Per contro, sulle sette stazioni di platea, all'estremità orientale del bacino (trasversale di Moneglia), la biomassa secca si colloca entro estremi un poco più alti, tra 1.68 - 4.24 $mg.m^{-3}$. E' da tenere presente che le colonne campionate su tali stazioni sono più basse che in mare aperto, pari o minori di 0-100 m.

L'esame dei dati rivela che la maggior povertà di biomassa si localizza sugli alti fondali nella zona centro-occidentale del bacino dove numerose stazioni sulle trasversali di Imperia, Albenga e Savona presentano valori < 1.4 mg $PS.m^{-3}$ (Fig. 2b). Valori più alti interessano i margini di questa zona ed anche tutto il settore orientale del Mar Ligure dove i fondali hanno prfondità < 500 m (trasversali di Genova e Moneglia)

3.2.2. Mesozooplancton su colonna 0-1900 m

Con riguardo alla composizione del mesozooplancton, i Copepodi dominano a tutti i livelli con percentuali tra 79 e 100 % del numero di organismi nelle cinque fasce d'acqua esaminate. I non Copepodi sono rappresentati soprattutto dalle Appendicolarie nello strato 0-50 m, dagli Ostracodi sotto i 400 m ed includono inoltre Sifonofori, Policheti, Chetognati e larve di Echinodermi. In totale sulla colonna 0-1900 m gli organismi mesozooplanctonici sono stati valutati 54.890 $ind.m^{-2}$ dei quali oltre 91 % (50.080 $ind.m^{-2}$) sono Copepodi. Di seguito viene riportata un'analisi dettagliata della distribuzione e abbondanza dei Copepodi.

A



B

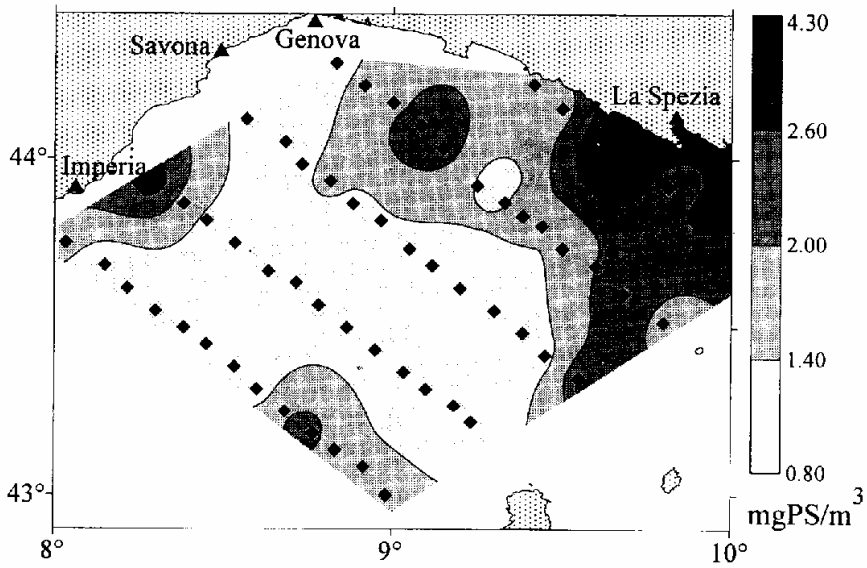


Fig. 2 – Mar Ligure, dicembre 1990. **A**) Isoterme superficiali. **B**) Distribuzione della biomassa del mesozooplancton (mgPS/m³).

Sulla colonna 0-1900 m il peso secco dei Copepodi sotto 1 m^2 di superficie (il peso del mesozooplancton non è stato valutato) è pari a 427.5 mg ed il numero dei Copepodi è pari a 50079 ind m^{-2} (Tab. 3).

I primi 200 m contengono 64.2 % del peso e 78.8 % del numero dei Copepodi dell'intera colonna 0-1900 m mentre lo strato più profondo contiene solo 12.3 % e 10.6 %, rispettivamente, del peso e del numero totali. Il peso medio dei Copepodi aumenta con la profondità fino allo strato 400-1000 m e poi diminuisce sotto 1000 m.

Tab. 3 - Dati quantitativi dei Copepodi. Per ogni strato campionato vengono indicati numero e peso sotto 1 m^2 di superficie (N°/m^2 e mg PS/ m^2) e le rispettive percentuali sulla colonna 0-1900 m, numero e peso per unità di volume (N°/m^3 e mg PS/100 m^3) ed il peso medio dei Copepodi (µg/ind).

Fasce campionate	**Numero**			**Peso secco**			
Metri	N°/m²	%	N°/m³	mg/m²	%	mg/100m³	µg/ind
0-50	26500.6	52.9	530.0	119.2	27.9	238.5	43.5
50-200	12966.0	25.9	86.4	155.1	36.3	103.4	120.7
200-400	2228.0	4.4	11.1	26.2	6.1	13.1	121.9
400-1000	3085.2	6.2	5.1	74.5	17.4	12.4	248.6
1000-1900	5298.8	10.6	5.9	52.5	12.3	5.8	100.8
Totale 0-1900	**50078.6**	**100**		**427.5**	**100**		

Forti contrazioni del peso secco (mg/m^3) si osservano al disotto di 50 m, di 200 m e di 1000 m. La diminuzione del numero (N°/ m^3) ricalca a grandi linee quella della biomassa eccetto nello strato più profondo dove si assiste ad un leggero incremento dell'abbondanza numerica rispetto allo strato sovrastante dovuto soprattutto a Copepodi di piccola dimensione quali *Oncaea* e copepoditi CI di *Candacia* che hanno modesta influenza sul peso.

Con la profondità cambia la composizione del popolamento. La ripartizione delle specie ai cinque livelli campionati viene indicata in Tabella 4 nella quale compare anche l'elenco dei generi di Copepodi con le rispettive percentuali sul totale della colonna.

La massima concentrazione degli organismi nella fascia 0-50 m è dovuta ai generi *Clausocalanus* ed *Oithona (O. helgolandica* e *O. setigera)* che insieme costituiscono 89 % del numero di Copepodi in questo strato più superficiale. In particolare il genere *Clausocalanus* costituito in massima parte da stadi giovanili forma il grosso del popolamento totale (62 %). Nello strato 50-200 m questi due generi hanno abbondanze più ridotte e sono affiancati da numerose forme che non erano presenti nello strato sovrastante. Nello strato 200-400 m il popolamento è molto più sparso e più diversificato ed è costituito da *Clausocalanus* per 29 % e da *Pleuromamma* per 13 %. Sotto 400 m l'ulteriore rarefazione del numero è accompagnata da un altro cambiamento qualitativo: la diversificazione del popolamento diminuisce ed il genere *Oncaea (O. ornata* e *O. media)* diventa dominante con 56 %. Sotto 1000 m i generi *Candacia* (copepoditi CI) e *Oncaea (O. ornata)* dominano con rispettivamente 40 % e 22 % un

Tab. 4 – Elenco dei Copepodi nei vari strati e su colonna totale 0-1900 m (N°/m²)

Specie	0 50	50 200	200 400	400 1000	1000 1900
Paracalanus parvus CVI,CV	1.212,1				
Calocalanus styliremis CVI	484,8				
Corycella carinata CVI	242,4				
Candacia varicans CVI	<1				
Heterorhabdus papilliger CVI	<1				
Chiridius poppei CVI	<1	<1			
Calanus gracilis CVI	14,5	3,6			
Oncaea mediterranea	<1	505,1			
Euchaeta acuta CVI	36,4	21,8	7,3		
Corycaeus brehmi CVI	<1		41,2		
Calanus robustior CVI	7,3	<1	<1	3,1	
Oithona setigera	484,8	126,3	103,0	<1	
Pleuromamma abdominalis CVI-CIV	18,2	397,0	<1	53,6	
Pleuromamma gracilis CVI-CIV	<1	631,3	288,6	80,4	
Calanus helgolandicus CVI,CV	<1	<1	24,3	97,3	6,0
Clausocalanus spp.CVI	2.424,2	1.389,0	289,0	<1	89,5
Clausocalanus CII-CV	14.303,0	1.768,0	350,0	<1	760,8
Oithona helgolandica	6.545,5	1.388,9	20,6	26,8	134,3
Copepoditi indeterminati	727,3	1.900,8	203,0	295,1	133,9
Lucicutia flavicornis CVI		378,8			
Euchaeta spinosa CVI		3,6			
Clytemnestra sp. CVI		<1			
Euaetideus giesbrechti CVI		<1			
Pleuromamma CIII-CII		883,8			
Oithona plumifera		378,8			
Ratania flava CVI,CV		126,3	20,6		
Heterorhabdus CII-CV		126,3	41,2		
Calanus CII-CV		126,3	41,2	107,2	
Euchaeta CIII-CV		148,1	48,5	3,1	
Scolecitricella dentata CVI		252,6	20,6	<1	
Heterorhabdus sp. CVI		<1	<1	26,8	
Euchirella messinensis CVI		10,9	3,7	3,1	
Scolecitricidae CIII-CV		1.641,1	20,6	26,8	<1
Oncaea ornata		631,3	144,3	1.340,6	1.163,6
Lucicutia CIII-CV		126,3	20,6		223,8
Heterorhabdus spinifrons CVI			3,7		
Heterorhabdus abyssalis CVI			<1		
Haloptilus longicornis CVI			<1		
Oncaea venusta			41,2		
Aetideus armatus CV			20,6		
Corycaeus furcifer CVI			<1		
Oncaea media			41,2	375,4	
Oncaea sp.			61,8	53,6	
Mimocalanus sp.CVI,CV,CII			185,5	160,9	
Eucalanus monachus CVI			<1	<1	
Mormonilla minor CVI-CIV			185,6	53,6	179,0
Lucicutia sp.CVI			<1	<1	<1
Scolecitricella vittata CVI				<1	
Onchocalanus trigoniceps CVI,CV				6,2	
Amallotrix auropecten CVI				26,8	
Scaphocalanus sp.CVI				26,8	
Eucalanus elongatus CVI				34,3	
Eucalanus attenuatus CVI				6,2	
Temorites brevis CVI,CV				<1	
Oncaea conifera				<1	
Conaea rapax CVI				187,7	
Heterorhabdus clausi CVI				<1	
Gaetanus kruppi CVI,CV				9,4	3,0
Monacilla typica CIV,CIII				80,4	89,5
Aetideidae CIII,CII					134,3
Candacia elongata ? CVI					<1
Candacia CI					2.103,3
Lucicutia longiserrata CVI					98,6
Lucicutia curta CVI					<1
Lucicutia lucida CVI					<1
Lucicutia simulans CVI					<1
Temoropia mayumbensis CVI					44,8
Scolecitrix sp CVI.					134,3
Spinocalanus sp.CVI,CIV,CIII					<1

Colonna 0-1900 m	N°/m²	%
CLAUSOCALANUS	21.373	42,68
OITHONA	9.209	18,39
ONCAEA	4.358	8,70
COPEPODITI	3.213	6,42
PLEUROMAMMA	2.353	4,70
CANDACIA	2.103	4,20
SCOLECITRICIDAE	1.689	3,37
PARACALANUS	1.212	2,42
LUCICUTIA	859	1,71
CALOCALANUS	485	0,97
CALANUS	431	0,86
MORMONILLA	418	0,84
HETERORHABDUS	366	0,73
MIMOCALANUS	346	0,69
SCOLECITRICELLA	273	0,55
EUCHAETA	269	0,54
CORYCELLA	242	0,48
CONAEA	188	0,37
MONACILLA	170	0,34
RATANIA	147	0,29
SCOLECITRIX	134	0,27
TEMOROPIA	45	0,09
CORYCAEUS	41	0,08
EUCALANUS	41	0,08
AMALLOTRIX	27	0,05
SCAPHOCALANUS	27	0,05
AETIDEUS	21	0,04
EUCHIRELLA	18	0,04
GAETANUS	12	0,02
ONCHOCALANUS	6	0,01
CHIRIDIUS	-	<
CLYTEMNESTRA	-	<
EUAETIDEUS	-	<
HALOPTILUS	-	<
SPINOCALANUS	-	<
TEMORITES	-	<

popolamento poco diversificato, caratterizzato dalla presenza di *Temoropia mayumbensis, Scolecitrix* sp. e diverse specie del genere *Lucicutia.*

In totale sono stati classificati 35 generi di Copepodi e 51 specie. La diversità del popolamento aumenta con la profondità fino allo strato 200-400 m e poi diminuisce progressivamente nei livelli più profondi (Shannon-Weaver, H' = 2.06 - 3.19 - 3.51 - 2.88 -2.14 rispettivamente nei 5 strati a partire dalla superficie). L'equitabilità segue esattamente lo stesso andamento (Pielou, J' = 0.49 - 0.72 - 0.74 - 0.59 - 0.51).

La distribuzione delle taglie (Fig. 3) mostra che Copepodi < 1 mm dominano a tutte le profondità e più marcatamente nello strato più superficiale. Un cambio particolarmente accentuato nella struttura della taglia si osserva tra 0-50 m e la sottostante fascia 50-400 m per l'aumento relativo di organismi nella dimensione 1-1.9 mm. Altri cambi avvengono nelle sottostanti fasce 400-1000 m e 1000-1900 m per la maggiore importanza di organismi > 2 mm, cambiamenti tutti confermati dal diverso peso medio degli individui nei vari strati ($\mu g.ind^{-1}$) indicato in Tab. 3.

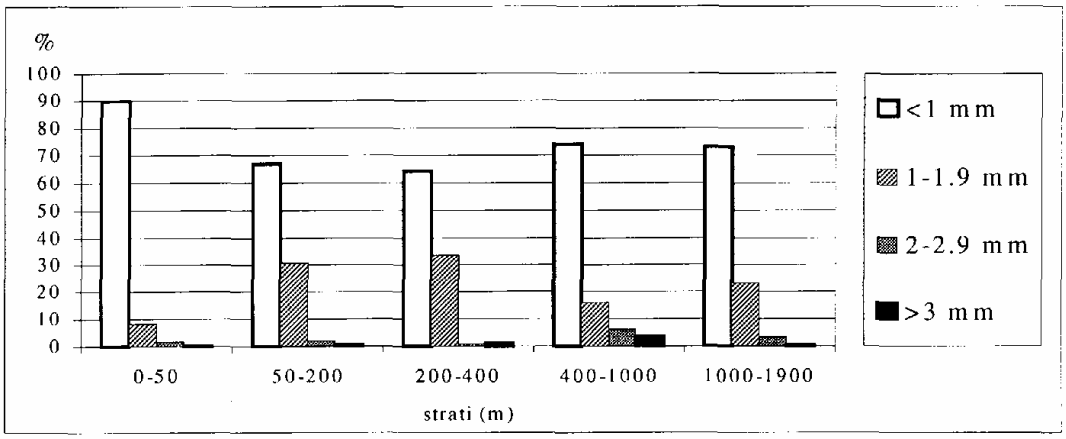


Fig. 3 - Distribuzione delle taglie dei Copepodi in funzione del numero su colonna 0-1900 m.

5. CONCLUSIONI

I dati della biomassa mesozooplanctonica (peso secco) rilevati nel dicembre 1990 forniscono un'indicazione della ricchezza del livello trofico secondario nello strato epipelagico delle acque d'altura del Mar Ligure.

In nessuna delle 59 stazioni esaminate il peso secco del mesozooplancton supera 4.2 mg m^{-3}. In media per le acque d'altura (52 stazioni) la biomassa secca è pari a 1.41 ± 0.53 mg PS m^{-3} (0.28 ± 0.10 g PS m^{-2}). Razouls & Thiriot (1972-73) in un vasto settore del Mediterraneo nordoccidentale campionato nel tardo inverno 1970, prima della spinta produttiva primaverile, segnalano per lo strato 0-200 m dei valori molto simili, pari in media a 1.14 mg PS m^{-3} nell'area a sud di Marsiglia (31 stazioni) e a 1.86 mg m^{-3} tra Nizza e Calvi (17 stazioni).

Le condizioni idrologiche del Mar Ligure caratterizzate da un circuito ciclonico con divergenza al centro e convergenza ai bordi appaiono influenzare la distribuzione della biomassa. Infatti entro una gamma ristretta di valori vi sono differenze che permettono di identificare una zona più povera (0.8 - 1.4 mg PS m^{-3}) nella parte centro-occidentale del Golfo di Genova, in relazione alla divergenza. Aree relativamente più ricche (1.5 - 4.2 mg PS m^{-3}) si trovano ai margini della divergenza e si estendono in tutto il settore orientale del bacino, inclusa la platea. Razouls & Thiriot (op.cit.) sull'asse Nizza-Calvi trovano anch'essi nel periodo freddo dell'anno i valori più bassi di biomassa nella zona del mescolamento verticale delle acque dovuto alla divergenza.

Sulla colonna 0-1900 m la biomassa dei Copepodi è pari a 0.427 gPS m^{-2}, ed è 0.375 gPS m^{-2} sulla colonna 0-1000 m. Questi dati hanno pochi termini di confronto perché la maggior parte delle valutazioni quantitative dei Copepodi su colonne d'acqua ≥ 1000 m sono state fatte in peso umido, in volume o in numero di individui, e le poche valutazioni in peso secco sono state ottenute con metodi diversi. Vale comunque la pena segnalare che Longhurst & Williams (1979) in nord Atlantico in agosto per la colonna 0-1000 m campionata con il Longhurst-Hardy Plankton Recorder (maglie 280 µm) e divisa in 45 strati, trovano per i Copepodi la biomassa media (16 stazioni) di 0.376 gPS $m-^{2}$ di giorno e 0.308 gPS m^{-2} di notte. Hopkins (1982) nel Golfo del Messico in estate usando un campionatore Tucker (maglie 162 µm) trova per i primi 1000 m i valori di 0.728 gPS m^{-2} di giorno e 0.620 di notte. Da questi dati non si possono trarre conclusioni generali se non che un ordine di grandezza da 0.3 a 0.8 gPS m^{-2} può essere preso in considerazione per la biomassa secca dei Copepodi nei primi 1000 m in acque calde e temperate.

Riguardo alla distribuzione delle specie, sulla colonna 0-1900 m si sono potuti distinguere tre gruppi principali di Copepodi. Il primo gruppo comprende le forme che si addensano nei primi 50 m ed include poche specie, alcune presenti su tutta la colonna *(Oithona helgolandica* e *Clausocalanus* spp.) ed altre che sono ristrette alla zona epipelagica. Il secondo gruppo è costituito da forme che vivono più sparse e che sono limitate ad acque sotto i primi 50 m. Questo gruppo è molto ricco di specie e comprende forme con ampia distribuzione verticale *(O. ornata* e stadi giovanili di Scolecithricidae e di *Lucicutia)* e forme trovate a livelli di profondità più o meno ristretti, alcune solo sotto 200 m, altre solo sotto 400 o sotto 1000 m. Un terzo gruppo è formato da poche specie che si trovano dalla superficie fino a 1000 m od oltre e che, a differenza di quelle del primo gruppo, si addensano a qualche livello sottosuperficiale *(Calanus helgolandicus. P. abdominalis, P. gracilis).*

La distribuzione verticale dei Copepodi osservata trova molta analogie con quelle riportate per i primi 1000 o 2000 m in altre aree del Mediterraneo nordoccidentale (cfr. Vives, 1978; Scotto di Carlo *et al,* 1991; Gasser, 1995). Va tuttavia tenuto presente che la distribuzione rilevata in questa ricerca sulla colonna 0-1900 m fornisce una visione relativa alle ore pomeridiane e serali. La migrazione giornaliera può aver influenzato la distribuzione dei forti migratori interzonali *(P. gracilis, P. abdominalis, E. messinensis, E. acuta)* e soprattutto la fascia dei primi 50 m dove è noto che la variazione giornaliera è molto accentuata (Scotto di Carlo et al., 1984). In particolare il forte addensamento di

Clausocalanus in tale strato (334.5 ind m^{-3}) è verosimilmente dovuto all'ora serale in cui è avvenuto il prelievo dato che questa forma in varie stagioni ed in diverse zone costiere dei mari italiani ha mostrato maggiori concentrazioni vicino alla superficie dopo il tramonto (Zunini Sertorio & Licandro 1996).

La massima diversità e la massima equitabilità dei Copepodi sono state riscontrate in Mar Ligure nello strato 200-400 m confermando la tendenza ad una migliore ripartizione delle specie a profondità intermedia già osservata da Vassière & Seguin (1980) nel sud Tirreno e nello Ionio. Scotto di Carlo *et al.* (1984) nel Tirreno meridionale, sulla stazione a sud-ovest di Ponza, hanno trovato un picco della diversità dei Copepodi nello strato 500-600 m ed una successiva rapida diminuzione sotto 600 m. L'impoverimento della fauna di profondità in numero di specie quale si osserva in Mediterraneo è stato segnalato anche in altri bacini isolati dalla circolazione oceanica quali il Mar del Giappone e la parte centrale del Bacino Artico (Brodsky, 1952).

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo esprimere il nostro vivo ringraziamento a Nicolino Drago per l'aiuto prestato nelle varie fasi della ricerca, ed in modo particolare per aver reso possibile con la sua competenza il campionamento della colonna profonda. Ringraziarne inoltre Luigi Gaozza e Hervé Panciroli per la collaborazione prestata nell'esecuzione delle figure.

BIBLIOGRAFIA

Angel M.V. & Baker A. de C. 1982. Vertical distribution of the standing crop of plankton and micronekton at three stations in the northeast Atlantic. *Biol. Oceanogr., 2:* 1-30.

Brodsky K.A. 1952. On the vertical distribution of copepods in the Northwestern Pacific Ocean. In: Three russian papers on Northwestern Pacific plankton, *Spec. Sci. Rep., Fisheries 192,* U.S. Dep. Int., Fish and Wildlife Service: 1-6.

Bruzzone R., Danovaro R., Drago N., Fabiano M., Ricci F., Vaccarezza C. & Zunini Sertorio T. 1993. Materiale particellato e Biomasse Planctoniche in Mar Ligure: Dicembre 1990. *Rapp. Tecn. N. 45, Ist. Sc. Amb. Mar., Università di Genova.*

Frontier S.1972. Calcul de l'ereur sur un comptage de zooplancton. *J. exp. mar. Biol. Ecol*., 8: 121-132.

Gasser M.B. 1995. La structuration verticale des communautés mésozooplanctoniques à travers des fronts hydrodinamiques. *Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.*

Greze V.N. 1963. Zooplankton of the lonian sea. *Okeanol. Rhezult.,* 9: 42-59.

Hopkins T.L. 1982. The vertical distribution of zooplankton in the eastern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.,* 29: 1069-1083.

Hure J. & Scotto di Carlo B. 1968. Comparazione tra lo zooplancton del golfo di Napoli e dell'Adriatico meridionale presso Dubrovnik. 1. Copepoda. *Pubbl. Sta. Zool. Napoli,* 36: 21-102.

Hure J. & Scotto di Carlo B. 1971. Importance quantitative et distribution verticale des Copépodes pélagiques de profondeur de la mer Tyrrhénienne et de l'Adriatique meridionale. *R.P.V.Réun. CIESM,* 20: 401-404.

Hure J. & Scotto di Carlo B. 1974. New patterns of diurnal migration of some deep-water copepods in the Tyrrhenian and Adriatic Seas. *Mar. Biol.,* 28: 179-184.

Longhurst A. & Williams R. 1979. Materials for plankton modelling: Vertical distribution of Atlantic zooplankton in summer. *J. Plankton Res.,* 1: 1-28.

Mazza J. 1962. Peches planctoniques superficielles et profondes en Mediterranee occidentale (campagnes de la "Thalassa" - janvier 1961- entre les iles Baléares, la Sardaigne et l'Algerois). II. Copépodes. *Rév. Trav. ìnst. Peches Marit., Nantes,* 26: 329-356.

Omori M. 1969. Weight and chemical composition of some important Oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. *Mar. Biol.,* 3: 4-10.

Pancucci-Papadopoulou M.A., Siokou-Frangou I., Theocharis A. & Georgopoulos D. 1992. Zooplankton vertical distribution in relation to the hydrology in the NW Levantine and the SE Aegean seas (spring 1986). *Oceanologica Acta,* 15: 365-381.

Razouls C. & Thiriot A. 1972-73. Données quantitatives du mésoplancton en Mediterranee occidentale (saisons hivernales 1966-1970). *Vie Milieu,* 23: 209-241.

Scotto di Carlo B., Hure J. & Miralto A. 1975. Bathypelagic Copepods collected off the island of Ponza (Mediterranean Sea) in June 1973 and June 1974. *Publ. St. Zool. Napoli,* 39: 176-186.

Scotto di Carlo B., Ianora A., Fresi E. & Hure J. 1984. Vertical zonation patterns for Mediterranean copepods from the surface to 3000 m at a fixed station in the Tyrrhenian Sea. *J. Plankton Res.,* 6: 1031-1056.

Scotto di Carlo B., Ianora A., Mazzocchi M.G. & Scardi M. 1991. *Atlantis II* Cruise: uniformity of deep copepod assemblages in the Mediterranean Sea. *J. Plankton Res.,* 13:263-277.

Vaissière R. & Seguin G. 1980. Etude préliminaire de peuplements de Copépodes (juillet 1977) en relation avec l'hydrologie des mers Tyrrhénienne et lonienne. *Oceanol. Acta,* 3: 17-29.

Vives F. 1978. Distributiòn de la poblaciòn de copépodos en el Mediterràneo occidental. *Res. Exp. Cient. E/O Corride,* 7: 263-302.

Weikert H. & Koppelmann R. 1993. Vertical structural patterns of deep-living zooplankton in the NE Atlantic, the Levantine Sea and the Red Sea; a comparison. *Oceanologica Acta,* 16: 163-177.

Weikert H. & Trinkaus S. 1990. Vertical mesozooplankton abundance and distribution in the deep Eastern Mediterranean Sea SE of Crete. *J. Plankton Res.,* 12: 601-628.

Zunini Sertorio T. & Licandro P. 1996. Diel variation of mesozooplankton in epipelagic waters of the Ligurian sea. *Atti XI Congr. A.I.O.L. Sorrento, 26-28 Ottobre 1994:* 177-192.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Itallana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 399 - 414.

THERMOHALLNE PROPERTIES AND CIRCULATION PATTERNS IN THE SOUTHERN ADRIATIC SEA FROM MAY 1995 TO FEBRUARY 1996

Beniamino MANCA, Alessandro GIORGETTI

Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste

RIASSUNTO

Vengono riportati i risultati ottenuti dall'indagini oceanografiche condotte nell'Adriatico Meridionale durante quattro campagne stagionali (Maggio 1995 - Febbraio 1996), nell'ambito del Programma di Ricerca e Sperimentazione del Mare Adriatico (PRISMA), sottoprogetto flussi longitudinali. In particolare sono stati analizzati i dati di temperatura e salinità che determinano le proprietà delle masse d'acqua ed il carattere della circolazione baroclina influenzata dai processi di formazione, trasformazione e scambio delle masse d'acqua con l'Adriatico Centro-Settentrionale ed il Mare Ionio. Sono state individuate cinque masse d'acqua, e precisamente: l'acqua Adriatica superficiale (ASW), l'acqua Ionica superficiale (ISW), l'acqua intermedia Levantina (LIW), l'acqua di fondo della fossa Adriatica (ADW) ed infine l'acqua densa dell'Adriatico Centro-Settentrionale (NADW). Lo schema generale della circolazione nello strato superficiale, intermedio e di fondo è quello noto dalla letteratura. Sono state osservate tuttavia importanti variazioni stagionali. La LIW entra in Adriatico attraverso il Canale d'Otranto attorno ai 200-600 m di profondità con una salinità mediamente superiore a 38.80. Essa scorre nel bacino dell'Adriatico meridionale, bordeggiando il vortice ciclonico; raggiunta la parte nord del vortice il nucleo si divide ed un ramo prosegue la sua corsa in direzione della sella di Pelagosa, dove la salinità è attorno a 38.70. Una salinità massima pari a 38.94 è stata osservata ad Otranto durante la campagna estiva ed autunnale, ma ad una profondità minore rispetto a quella usuale, con un aumento medio nel nucleo della LIW di 0.05, probabilmente connesso ad una variabilità interannuale delle caratteristiche termoaline delle acque intermedie del Mare Ionio. Lungo il versante occidentale è stata osservata la NADW, che adagiata sulla piattaforma alla quota di 200 m, mantiene la sua identità fino alle estreme sezioni meridionali di Otranto. Essa, avendo una densità inferiore a 29.14 $kg \cdot m^{-3}$, non sprofonda nella fossa dell'Adriatico Meridionale come era stato in precedenza osservato. La circolazione dello strato di fondo è caratterizzata dal flusso della ADW che esce attraverso Otranto con densità media attorno a 29.20 $kg \cdot m^{-3}$ in maniera non continuativa. In fine una stima del volume occupato dalle varie masse d'acqua ha messo in evidenza la variabilità stagionale dei regimi di scambio attraverso le sezioni principali del Promontorio del Gargano e del Canale d'Otranto.

ABSTRACT

The results obtained from the oceanographic measurements taken in the Southern Adriatic Sea, during four seasonal cruises (May 1995 - February 1996), in the framework of the longitudinal flux studies of the PRISMA (Programma di Ricerca e Sperimentazione del Mare Adriatico) project are reported. The thermohaline properties of the water masses are analyzed, as well as the processes influencing the baroclinic circulation and water exchange regime between the Adriatic and Ionian Sea. At least five water masses take part in these processes; namely the Adriatic Surface Water (ASW), the Ionian Surface Water (ISW), the Levantine Intermediate Water (LIW), the Adriatic Deep Water (ADW) and finally the North Adriatic Dense Water (NADW). The basin-wide circulation patterns in the surface, intermediate and deep layer are well known from the literature. Nevertheless important signals in their seasonal variability have been noticed. The LIW enters the Adriatic Sea in the layer between 200 and 600 m depth along the eastern flank of the Otranto Strait with a salinity core of about 38.80. It circulates in the Southern Adriatic bordering the cyclonic gyre; at the north of the gyre it bifurcates and a branch reaches the Pelagosa Sill, where the salinity is of about 38.70. However, a salinity maximum of 38.94 has been documented in summer and autumn, but at shallower depth than usual. In these circumstances the salinity core of 38.84 has been observed at Pelagosa sill. A continuity of the previously observed positive trend of LIW core salinity of about 0.05, is attributed to an interannual variability of the thermohaline properties of the Ionian waters at intermediate layer. The NADW reaches the southernmost sections at the Otranto Strait in the form of a density driven current. It flows southward against the western Continental shelf, with a potential density lower than 29.14 $kg \cdot m^{-3}$ without sinking into the Southern Adriatic Pit, as has previously been observed. The objectively analyzed bottom density field shows patches of ADW of about 29.20 $kg \cdot m^{-3}$, which overflow the sill of the Otranto Strait along the western continental slope. This is indicative of the transient nature of the ADW outflow. From a volumetric census of the above mentioned water masses, the seasonal variability of the water exchange regime through the Gargano and Otranto sections is discussed.

1. INTRODUCTION

The Adriatic Sea general circulation is characterized by an overall yearly averaged cyclonic gyre encompassing two permanent, topographically controlled, sub-basin scale cyclonic features located over the most prominent topographic depressions, namely the Middle and Southern Adriatic Pits, which have depths of about 250 and 1200 m respectively.

Many authors have analyzed the main aspects of the circulation in the past from in situ data and by modeling. The seasonal and year-to-year variations in thermohaline properties, mostly related to thermal fluxes at the surface and wind field, to the fresh water flow from river discharge mostly along the north-western side of the basin, and to the water exchange with the Ionian Sea through the Otranto Strait, have been widely

documented as well. The papers by Buljan & Zore-Armanda (1976), Franco *et al.* (1982), Orlic *et al.* (1992), Artegiani *et al.* (1993) and related literature offer a wide synthesis of the schematic baroclinic circulation patterns in the Adriatic Sea.

Numerical studies have pointed out the importance of the forcing mechanisms, which drive the dynamics, and the coastal and basin-wide physical processes, i.e. the water mass formation, transformation and circulation (Hendershott & Rizzoli, 1976; Malanotte-Rizzoli & Bergamasco, 1983; Bergamasco & Gacic, 1996). However transport estimates related to the general circulation are still unknown due to the lack of synoptic measurements throughout the basin. On the other hand flow in the alongshore direction is important in determining the dynamics and the exchange of biogeochemical materials among the various sub-basins.

The Adriatic Sea is the object of the collaborative research program PRISMA (**P**rogramma di **Ri**cerca e **S**perimentazione del **M**are **A**driatico). Within the framework of the longitudinal fluxes sub-project, four seasonal multidisciplinary hydrological surveys were conducted, from May 1995 to February 1996, around the four main transverse areas separating the major topographic features of the basin (i.e., the northern shelf area, the shelf break towards the Middle-Adriatic Pit, the Gargano passage dividing the Southern Adriatic Pit, and finally the opening of the Otranto Strait, which connects the Adriatic with the Ionian Sea). The synoptic shipboard measurements included high resolution CTD (Conductivity, Temperature and Depth) casts, as well as water sample collection for bio-chemical analyses. Long-term Eulerian current measurements coupled with ship-mounted ADCP (Acoustic Doppler Current Profiles) basin-wide surveys were conducted over the same sections as well. The results here presented concern the investigations in the Southern Adriatic basin, which is delimited to the north by the 200 m deep Pelagosa sill, and to the south by the sill at the 800 m deep Otranto Strait.

The station network (Fig. 1) was designed with the aim of investigating transport associated with the major water masses crossing the transverse sections at the Gargano passage (transect G, H and I) and at the Otranto Strait (transect L, M and N). The hydrographic characteristics of the large depression in the Southern Adriatic and of the shelf along the Italian shorelines, which extends down to 200 m depth, were investigated as well.

The data used for this study comes from the hydrographic stations (CTD and water samples) occupied during the seasonal surveys approximately at the same positions where a Seabird SBE 911 *plus* CTD coupled with a 24-bottles General Oceanics Rosette sampler was lowered. The CTD sensors were calibrated before each cruise and the data were quality controlled by discrete water samples for salinity analysis with a Guildline PORTSAL salinometer (accuracy $\pm 2 \cdot 10^{-3}$), and SIS reversing thermometer readings (resolution $\pm 1 \cdot 10^{-3}$), mostly reversed at the lowest levels. Throughout this paper, pressure is used as vertical coordinate, whereas the temperature is given as potential temperatures (θ) and the salinity (S) is according to the practical salinity scale. They were calculated from conductivity, temperature and pressure sensor data (UNESCO, 1983). The sea water density is according to the International Equation

of State of Seawater 1980 (UNESCO, 1981) and is presented as potential density excess (γ_θ), following the IAPSO recommendation (UNESCO, 1985).

The objective of this work is to provide the thermohaline properties of the water masses in the Southern Adriatic, their seasonal and spatial variability over an entire annual cycle, and their role in determining the circulation patterns in the surface, intermediate and deep layers. From a volumetric census of θ-S characteristics, the contribution of the different water masses to the total transport across the main transverse sections of the PRISMA project is discussed.

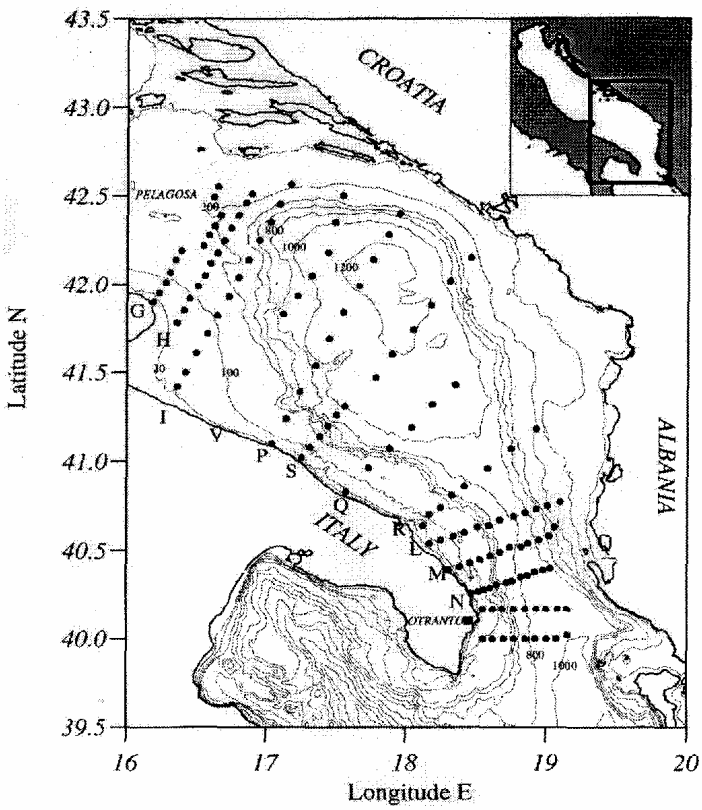


Fig. 1 - Map showing the bathymetry of the Southern Adriatic sea, and the combined network of hydrological stations occupied during the seasonal surveys. The letters on the western border of the basin denote the sections along which the stations were distributed. Depth contours are given in metres.

2. HYDROGRAPHY

The temperature and salinity properties are studied by examining in succession the θ-S diagrams constructed with the data collected during the four seasonal surveys. Here

the diagrams for the spring 1995 (Fig. 2a and b) and winter 1996 (Fig. 2c and d) surveys, i.e. the measurements conducted within the maximum lime lag, at the Gargano and Otranto transects are shown and compared.

At least five water masses affect the Southern Adriatic circulation, which is strongly influenced by the interaction between the northern part of the basin and the Ionian inflow through the Otranto Strait (Zore-Armanda, 1963).

The extremes forming the tails in the diagrams represent the densest Adriatic Deep Water (ADW) which resides in the Southern Adriatic Pit. At the Otranto Strait (Fig. 2b and 2d) this water mass, with density γ_θ>29.18 kg·m^{-3}, has an average temperature and salinity of about 13.1 °C and 38.64, respectively. It exits the Otranto Strait all through the year and spreads throughout the abyssal layers of the Ionian and Levantine Basins, forming the bulk of the cold water path of the Eastern Mediterranean closed thermohaline cell (Pollale, 1951; Roether & Schlitzer, 1991; the POEM Group, 1992; Malanotte-Rizzoli *et al.,* 1997). At the Gargano transects (Fig. 2a and 2c) the ADW lies in the bottom layer along the northern margin of the Southern Adriatic Pit (transect I in Fig. 1), where the topography reaches the depth of about 700 m. Here the average thermohaline properties are in therange of 6 = 13.17-13.24 °C, S = 38.65 and 79 = 29.17-29.22 kg·m^{-3}. The isopycnal of 29.17 kg·m^{-3}, situated at a depth of about 500 m all through the year (not shown), upwells to about 300 m during winter and early spring, giving an increase in volume of ADW in the Southern Adriatic Pit reservoir.

A cluster of points, located in 0-S space slightly above the ADW with a potential density range of 29.0-29.18 kg·m^{-3}, marks the Levantine Intermediate Water (LIW) which is the saltiest water. The LIW derives from the northward branch of its route in the Ionian (Malanotte-Rizzoli *et al.,* 1997), and enters the Adriatic Sea between 200 and 600 m depth. A core salinity value of S > 38.80 at the Otranto Strait, and S > 38.65 at the Gargano occurs throughout the year. However, LIW with salinity as high as 38.94 has been documented in the Otranto Strait interior during the summer and autumn surveys, where it was noted at a depth shallower than usual. The LIW subsequently reached the Gargano transects with only a slight modification. In fact, pools of LIW with S > 38.80 were observed at the Pelagosa sill in a layer between 100 and 200 m depth during the following autumn 1995 survey. During winter 1996, the LIW core extended towards higher salinity values than in spring 1995 (Fig. 2b and 2d). An overall increase in the salinity of the LIW core of about 0.05 in the Otranto Strait interior was observed, evidencing the continuity of the recent (since May 1995) positive trend in thermohaline properties individuated by Gacic et al. (1996).

In the same potential density range as the LIW core, but with much lower temperature and salinity values (0 < 13 °C , S < 38.40) one can distinguish the core of the Northern Adriatic Dense Water (NADW), which is assumed to have been advected southwards in the form of a bottom density current driven along the Italian coastal shelves (Artegiani *et al.,* 1989). This water was documented in the Gargano sections throughout the investigated period with average hydrographic properties in the ranges of θ = 12.5-12.9 °C, S = 38.3-38.4 and γ_θ= 29.07-29.10 kg/m^3. The lowest temperature and salinity values were documented during spring and summer 1995, whereas the highest during winter 1996, confirming that this water, originating in the north during winter,

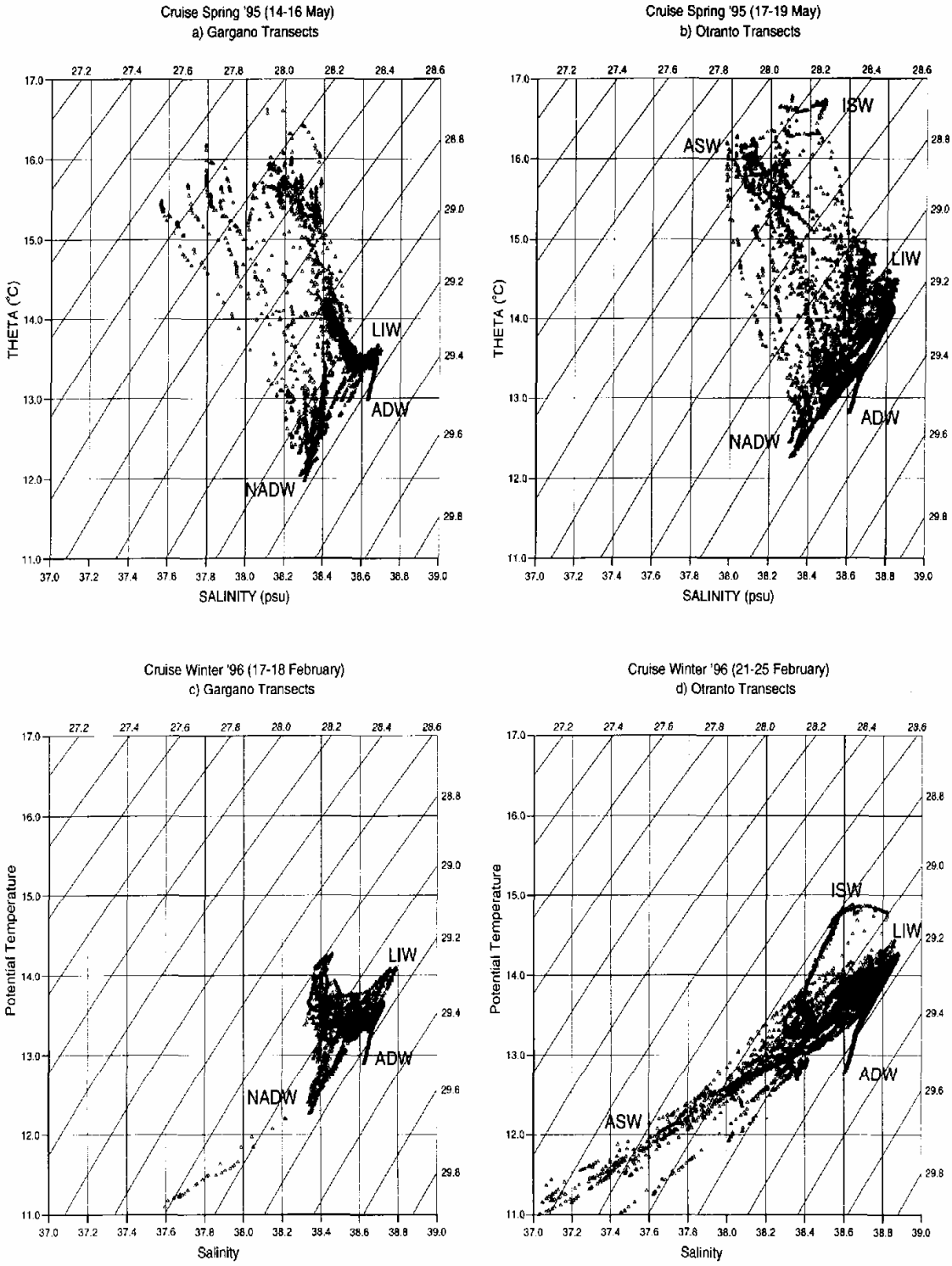


Fig. 2 - Potential temperature and salinity diagrams for CTD station data from sections G, H and I in the Gargano Strait during spring 1995 (a) and winter 1996 (c), and from sections L, M and N in the Otranto Strait during spring 1995 (b) and winter 1996 (d).

reaches the Gargano sections during the following spring-summer period. In the Otranto Strait the presence of the cold and fresh NADW is still evident, slightly modified in hydrographic properties: average hydrographic properties in the ranges of θ = 13.0-13.3 °C, S = 38.47-38.52 and γ_θ= 29.04-29.10 kg/m^3 indicating a scarce participation of this water in filling the Southern Adriatic Pit reservoir of the ADW.

The clusters of points around the LIW and the NADW spread in θ-S space towards the lighter less saline water. Above the 29.0 kg·m^{-3} isopycnal, the thermohaline properties are subjected to seasonal fluctuation due both to meteorological forcing and to the influence of fresh coastal waters. During winter two surface water masses are clearly visible at Otranto (Fig. 2d): the less saline Adriatic Surface Water (ASW), which is also the coldest with a temperature minimum of about 11 °C, and the saltier, much warmer Ionian Surface Water (ISW). During the remaining seasons, lower salinity in the near surface layer mark progressive mixtures of the saltier open sea water with the fresher water present near the Italian coastline.

3. CIRCULATION PATTERNS

The main properties of the circulation patterns in the surface, intermediate and deep layers are determined by the contrast between the fresher and colder water outflowing from the Adriatic and the saline, warm Ionian water flowing in. While the former is subject to the seasonally modulated meteorological factors by direct contact with the atmosphere (Le., heat fluxes and momentum exchanges prevail in winter, whereas fresh-water buoyancy input is the dominant factor during the other seasons), the latter is not totally independent but is a compensatory stream to the former (Zore-Armanda, 1969; Gacic *et al.* 1996).

3.1. Horizontal analysis

The horizontal distributions of the temperature and salinity fields reveal not only the pathways of the water masses but also the main dynamical features of the baroclinìc circulation. The CTD station network shown in Fig. 1 is completed with the synoptic data collected by the R/Vs Alliance and Magnaghi, which were simultaneously at sea for the SACLANT OTRANTO GAP and the European Union MAST/MTP-OTRANTO projects, during the spring 1995 survey.

The geopotential anomalies at the sea surface are computed with respect to the 100 dbar reference level (Fig. 3a), since our aim is to describe the geostrophic shear field in the layer above the seasonal thermocline. The dominant feature is the large cyclonic gyre in the central part of the Southern Adriatic. The strong horizontal shear between the eastern and western portion, both in the Gargano and Otranto Straits, is indicative of the current flow pattern, which is strongly influenced by the transient meso-scale features. The dynamic height generally follows the surface salinity pattern (not shown) evidencing the fact that high salinity in the center of the gyre upwell from the intermediate layer occupied by LIW. The general features of the circulation do not change significantly with depth, and are also noticeable during the other seasons (not

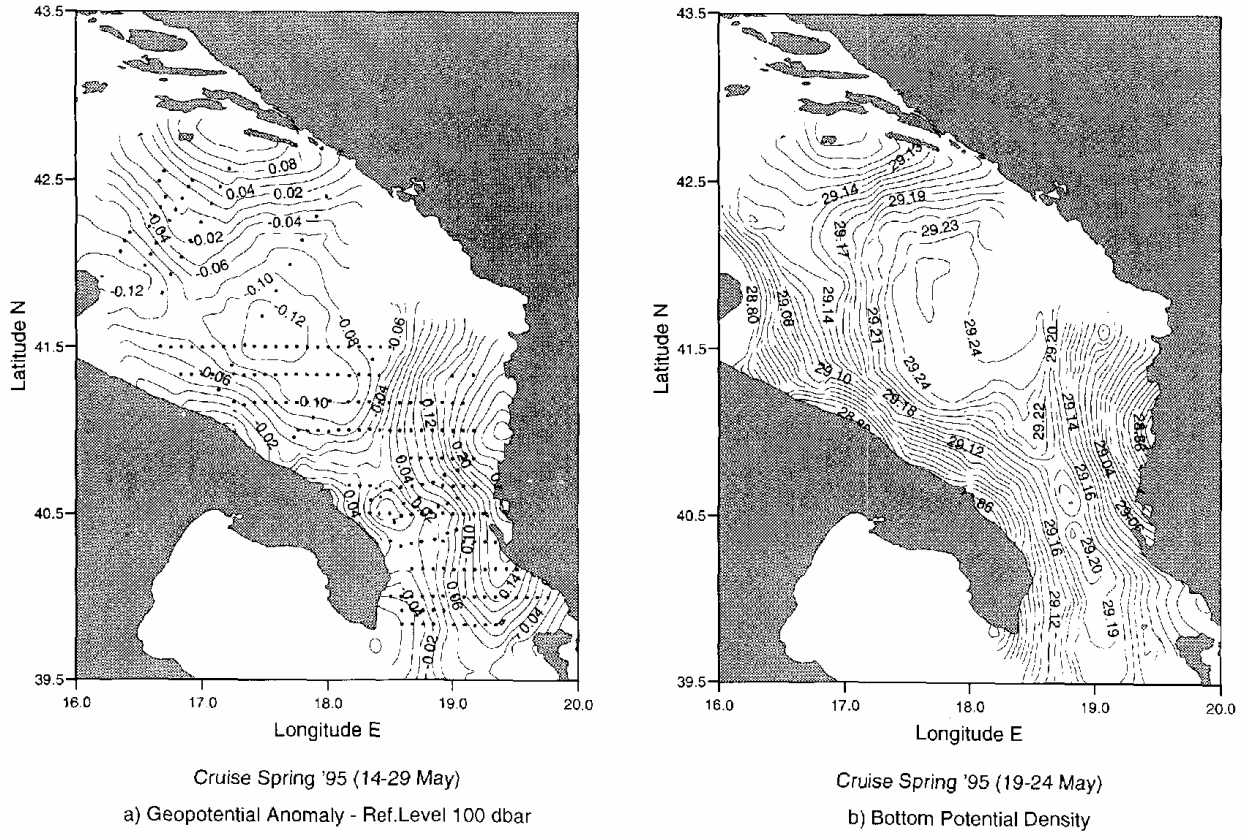


Fig. 3 - Horizontal distributions of hydrographic properties in the Southern Adriatic for the spring 1995 survey: (a) Geopotential anomaly ($m^2 \cdot s^{-2}$) at the surface referenced to 100 dbar (the dots denote the CTD stations used for the maps); (b) Density near the bottom layer.

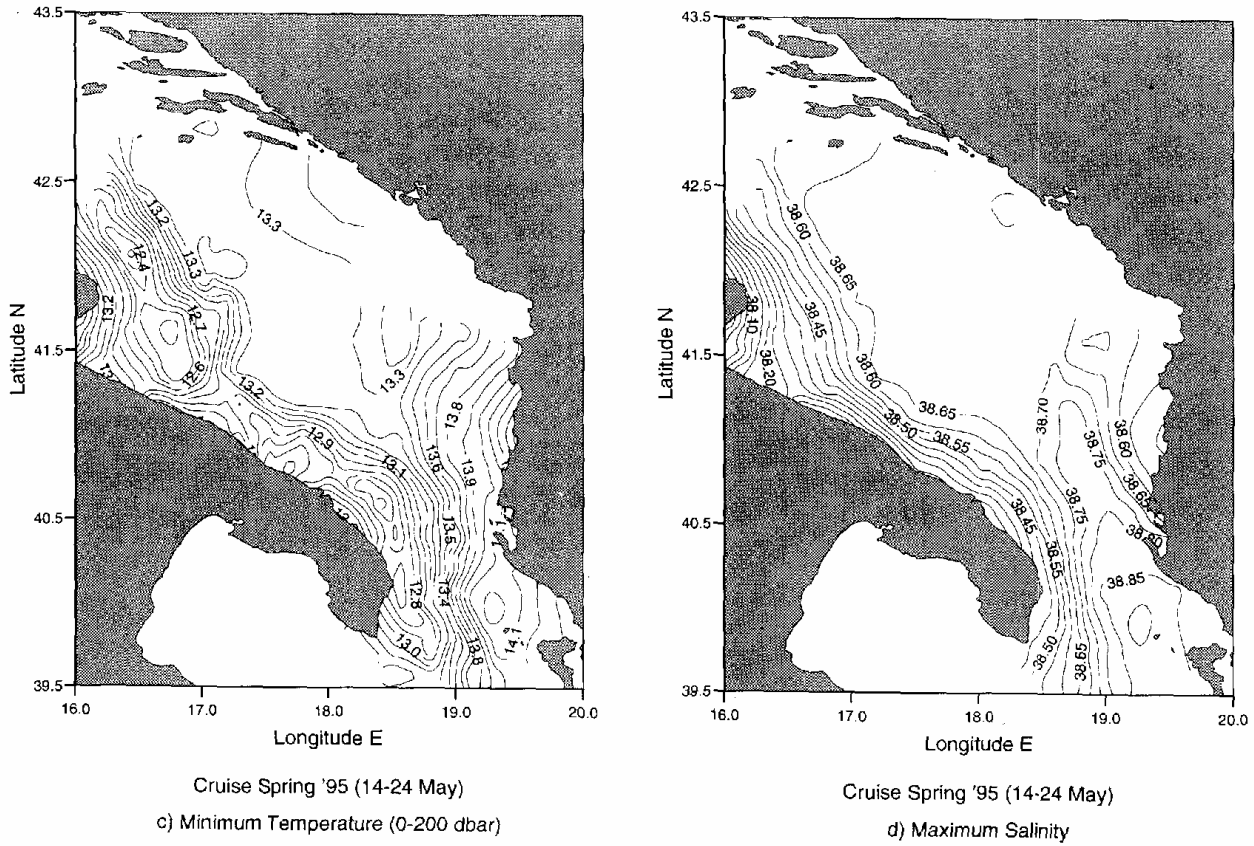


Fig. 3 - Horizontal distributions of hydrographic properties in the Southern Adriatic for the spring 1995 survey: (c) Temperature minimum above the 29.16 $kg \cdot m^{-3}$ isopycnal; (d) Salinity maximum.

shown), indicating that the large cyclonic gyre in the Southern Adriatic Pit is a permanent feature.

The distribution of the potential density excess near the bottom layer (Fig. 3b) is indicative of the main flow characteristics of the ADW. The densest portion of the ADW, with $\gamma_\theta \cong 29.25$ kg·m^{-3}, resides in the deep layer of the Southern Adriatic Pit, but patches of water with $\gamma_\theta \cong 29.20$ kg·m^{-3} can be noted over the Otranto sill. This indicates the transient nature of the ADW overflow.

In the intermediate layer the distribution of the temperature minimum above the 29.16 kg·m^{-3} isopycnal surface (i.e., in the range of about 0-200 m depth) may be indicating the pathway of the colder NADW which flows against the western shelf area (Fig. 3c). Moving southward, the NADW path reduces in extent, and detaches from the coast upon reaching the Otranto Strait where it spreads into the Ionian as a jet. The warmer water prevails on the eastern flank, both in the Gargano and Otranto Straits. The distribution of the salinity maximum (Fig. 3d) indicates the main pathway of LIW. The LIW core with S > 38.85 enters the Otranto Strait and protrudes more diluted toward the eastern portion of Southern Adriatic Sea. Here it recirculates in the southern cyclonic gyre. A well homogenized modified LIW with S ≅ 38.65 protrudes towards the Middle-Adriatic Basin through the Pelagosa sill.

3.2. Vertical Section Analyses

The vertical distributions of temperature and salinity along the west-east transects show the spatial extension of the above mentioned water masses. The northernmost Gargano section G and the southernmost section N at Otranto Strait from the spring 1995 survey are now shown and compared.

At the Otranto Strait (Fig. 4a and b) the signal associated with ADW is evident both in temperature and salinity. It occurs as a bottom temperature and salinity minimum, mostly against the western Continental slope, delineated by the 13.2-13.3 °C isotherms and the 38.65 isohaline. The signal associated with the LIW is only evident as a maximum in the salinity field lying between 100 and 600 m depth at the opening, prevalently along the eastern part of the section. The LIW tongue with S ≥ 38.75 becomes more diluted (S ≅ 38.70) towards the middle of the Strait. The relatively fresh and cold water on the western Continental shelf (0 < 13.0 °C, S < 38.40) marks the southward flow of the NADW. It, at the southernmost section N, detaches from the shelf and flows in the intermediate layer (200-400 m) against the western Continental slope, where it may be recognized by the relatively cold and less saline water (θ < 13.3 °C, S < 38.65) exiting the Adriatic.

In the Gargano transect (Fig. 4c and d) low temperatures and salinites (θ < 13.0 °C, S < 38.40) delimit a broad bottom density driven current which constitutes the southward flow of NADW over the western Continental slope down to 200 m depth. The center of the bottom layer is occupied by the LIW, which reaches the Pelagosa sill and proceeds more diluted (S ≅ 38.65) toward the Middle Adriatic Sea.

The surface layer down to 25 dbar is subject to seasonal variability and is strongly influenced by mesoscale features, as evidenced by the temperature field. The salinity

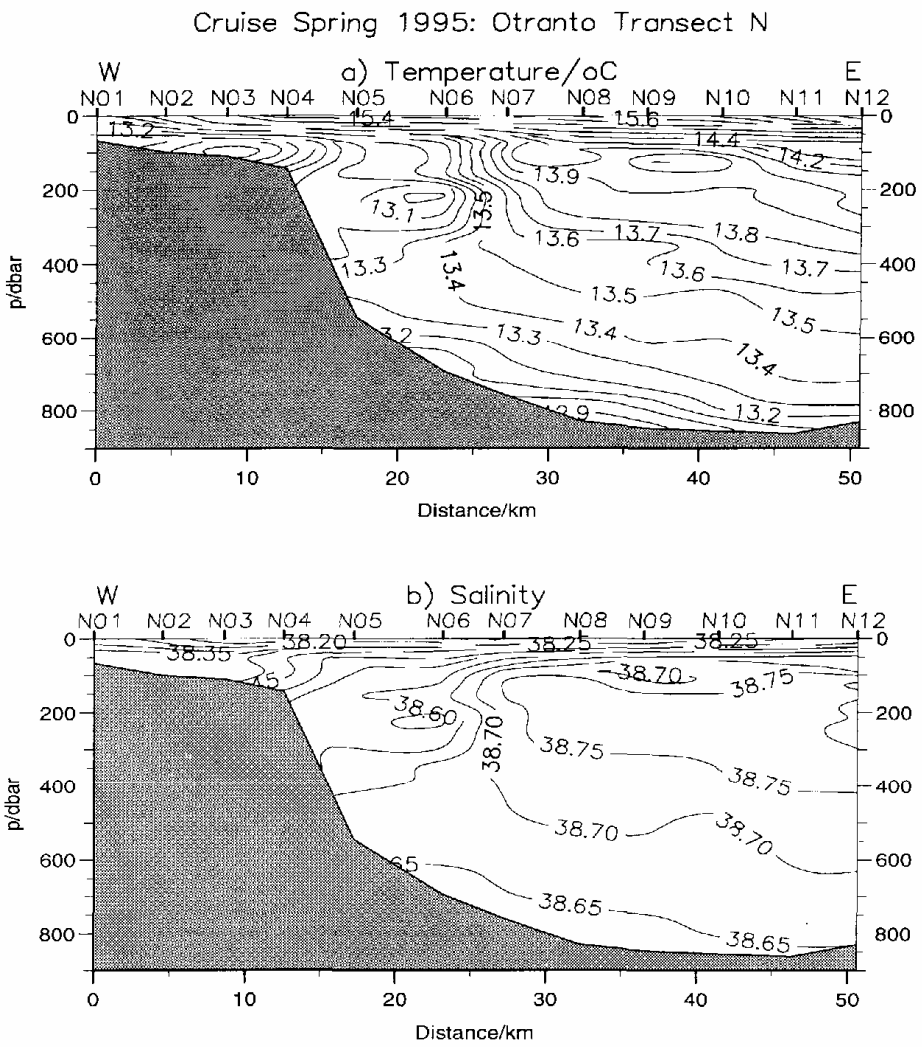


Fig. 4 - Distribution of potential temperature (a) and salinity (b) along the W-E hydrographic section N at Otranto; potential temperature (c) and salinity (d) along the W-E section G at Gargano during spring 1995.

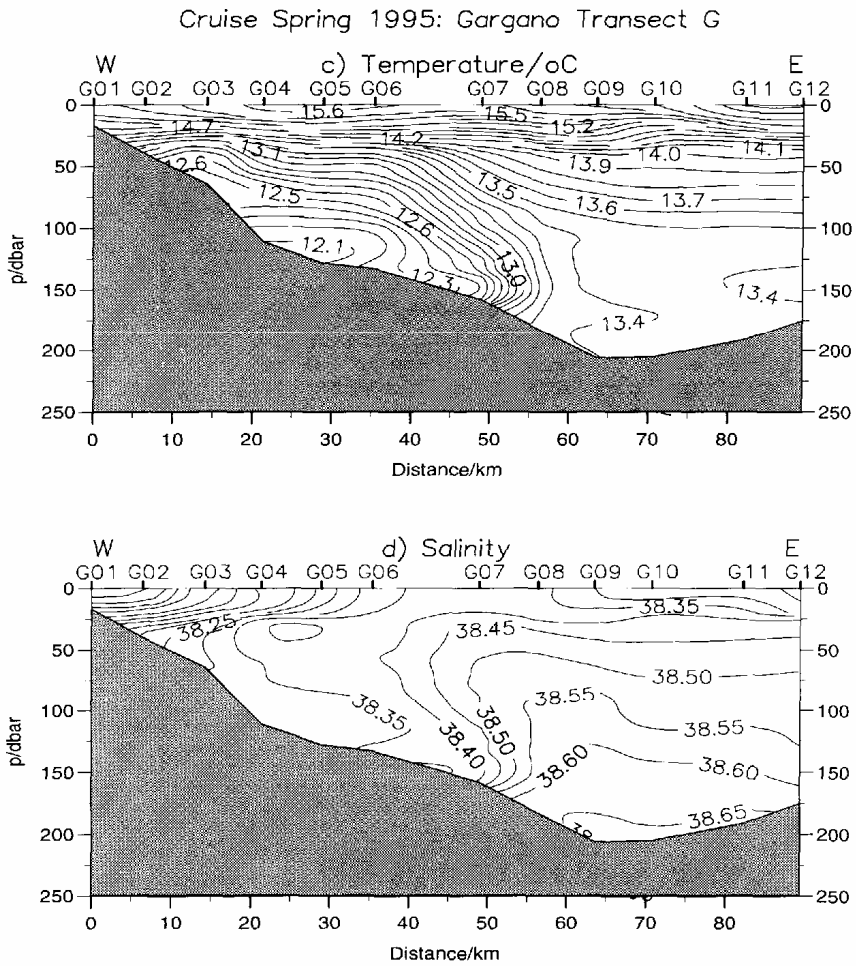


Fig. 4 - (continued)

field reveals a coastal surface boundary layer on the western side, characterized by relatively fresh water, separated from the saltier open sea water.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In order to follow the temporal variability of the water exchange regime between the Adriatic and Ionian Sea, the distribution of the thermohaline properties of the main water masses along the transverse zonal regions at the Gargano and Otranto Strait are considered. These regions are the most suitable for examining the seasonal changes in the advection of Ionian and Adriatic waters.

The data were fairly equally distributed along the three sections (i.e., the CTD stations were spaced at about 5-9 km along the sections, whereas the sections are at about 19 km apart), and the total volume investigated at Gargano and Otranto inlets was of about 750 km^3 and 1260 km^3, respectively. A quantitative measure of the volume occupied by each water mass may be estimated by a census of temperature and salinity data, which reflect the characteristics for each water mass and each season. To this end the Transitional Water (TW), which spreads in θ-S space between the waters in the intermediate layer (LIW and NADW) and surface (see Fig. 2 and 3), must be considered. The TW results from the horizontal and vertical shear which enhance the mixing between the LIW and the NADW detached from the shelf. It leads to an increase in the southward flow to balance the total transport across the sections. Table 1 summarizes the characteristic ranges of the water masses and their volumetric census (in per cent of the total amount occupied by the measurements) in the Gargano and Otranto regions.

The light surface water (SW) plays a major role in the water exchange regime during summer and autumn at the Gargano transect, whereas at the Otranto Strait the largest extent of surface waters occurs during winter. The former may be explained by the enhanced vertical shear during the stratified season caused by the North Adriatic fresh water input which spreads over the entire surface layer (Artegiani *et al.,* 1997). The latter may be explained by the enhanced horizontal shear during winter causing the increase of ISW in the Otranto Strait interior (Gacic *et al,* 1996).

In the intermediate layer the seasonal variability of LIW displays a maximum during summer and autumn, both in the Otranto and Gargano sections. The simultaneous decrease of NADW is in agreement with the complementary character of the two water masses at a seasonal time scale. On the other hand, the NADW is formed during winter. We can expect the maximum flow of NADW to occur during late winter-early spring, with a progressive reduction during summer, which continues until the end of the following autumn period.

The temporal variability of the volume occupied by the ADW displays a strong seasonal signal. The largest cross-section volume of ADW is during winter and spring, i.e., during and immediately after the most probable period of vertical convection events. On the other hand, the minimum volume of ADW occurs in summer and autumn, which can be explained in terms of the emptying of the Southern Adriatic Pit reservoir.

Tab. 1 - Seasonal variability of the % volume of the main water masses defined in the text. The characteristic ranges of the water masses are given in brackets. The characteristics of the Surface Water (SW) are different for each season, but are constant for the other water masses.

Gargano Sections: Total volume estimate 750 km^3

Cruise	SW	NADW (S<38.5, γ_θ>29.0)	LIW (S>38.65, γ_θ<29.17)	ADW (S<38.60, γ_θ>29.17)	TW (S≈38.5-38.65 γ_θ≈29-29.17)	Tot.
Spring '95	(γ_θ<28.8)15.5	16.1	33.9	8.2	26.9	101
Summer '95	(γ_θ<26.0) 21.9	11.2	48.3	7.5	13.1	102
Autumn '95	(γ_θ<27.8) 22.3	10.0	59.7	5.6	4.0	101
Winter '96	(γ_θ<28.9) 14.6	13.5	37.3	9.9	19.5	95

Otranto Sections: Total volume estimate 1260 km^3

Cruise	SW	NADW (S<38.6, γ_θ>29.0)	LIW (S>38.7, γ_θ<29.0)	ADW (γ_θ>29.18)	TW (S≈38.6-38.7 γ_θ≈29-29.18)	Tot.
Spring '95	(γ_θ<28.8) 3.8	14.2	35.3	11.2	34.0	98
Summer '95	(γ_θ<26.0) 9.1	5.5	41.2	5.0	39.6	100
Autumn '95	(γ_θ<27.8) 11.8	2.8	45.7	4.9	35.5	101
Winter '96	(γ_θ<28.9) 12.4	14.7	33.4	8.3	21.3	90

Note: The last column has been obtained by adding the contributions of the different water masses. This total should be equal to 100; any discrepancy results from missing or overlapping data in the water mass definitions.

The data presented here may be biased by the core method applied in defining the water mass characteristics, which makes the assumption that they have maintained the same thermohaline properties during the entire annual cycle. Nevertheless the main results confirm previous knowledge on the flow and related water exchange regime through the Otranto Strait and the Gargano Passage. In the present analysis a quantitative estimate of the volumes associated with the different water masses has been made. The total volume, which determines the total transport through the Otranto and Gargano sections, has been subdivided among the various possible water masses. The

seasonal variability of the volumes over an entire annual cycle has al so been investigated.

Further new results obtained from the present analysis are: i) the pathways of the major water masses in the Southern Adriatic Basin have been defined in more detail than in previous studies; ii) the NADW reached the Southern Adriatic with a potential density less than 29.14 $kg \cdot m^{-3}$. We make the assumption that the NADW does not sink into the Southern Adriatic Pit, but flows along the Italian shelf to the Otranto Strait where it constitutes an important component of the total transport. It was not subject to the strong mixing and deepening processes, as observed during previous experiments (Bignami *et al.,* 1991); iii) finally, the cyclonic gyre in the Southern Adriatic Basin constitutes a permanent feature. During an entire annual cycle it was mostly indicated at the surface by the occurrence of extensive water patches of relative salinity maximum upwelling from the intermediate layer in the center of the South Adriatic Pit. In fact the salinity maximum was decoupled from the prevalent distribution of fresh water on the border of the gyre.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by contribution n. 94.04550.PG03 from the Consiglio Nazionale delle Ricerche in Rome. We also acknowledge funding from the European Union (grants MAS3-CT96-0051). We wish lo thank the masters and crews of the R.V. Urania for their technical assistance on board. We are grateful to the SACLANT Undersea Research Centre, La Spezia, Italy for providing the hydrographic data collected by R/V Alliance and Magnaghi during the OTRANTO GAP Program. The help of Corrado Fragiacomo, Fulvio Moro and Isabella Tomini in data collection and analysis is gratefully acknowledged.

REFERENCES

Artegiani A., Azzolini R. & Salusti E. 1989. On the dense water in the Adriatic Sea. *Oceanol Acta,* 12,2: 151-160.

Artegiani A., Bregant D., Paschini E., Pinardi N., Raicich F. & Russo A. 1997. The Adriatic Sea general circulation. Part II: baroclinic circulation structure. *J. Phys. Oceanogr.,* 27: 1515-1532.

Artegiani A., Gacic M., Michelato A., Kovacevic V., Russo A., Paschini E., Scarazzato P. & Smircic A. 1993. The Adriatic Sea hydrography and circulation in spring and autumn (1985-1987). *Deep-Sea Res.,* 40: 1143-1180.

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

Bignami F., D'Archino R., Montebello O. & Salusti E. 1991. New observations on bottom currents in the Southern Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean Sea). *Ann. Geophys.,* 9: 227-232.

Buljan M. & Zore-Armanda M. 1976. Oceanographical properties of the Adriatic Sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.,* 14: 11-98.

Franco P., Jeftic L., Malanotte Rizzoli P., Michelato A. & Orlic M. 1982. Descriptive model of the Northern Adriatic. *Oceanol. Acta,* 5, 3: 379-389.

Gacic M., Kovacevic V., Manca B., Papageorgiou E., Poulain P.M., Scarazzato P. & Vetrano A. 1996. Thermohaline properties and circulation in the Otranto Strait. *In:* Dynamics of mediterranean straits and channels. F. Briand ed., CIESM Science series n. 2. *Bull. de l'Inst. Oceanogr., Monaco,* n° spécial 17: 117-145.

Hendershott M.C. & Rizzoli P. 1976. The winter circulation of the Adriatic Sea. *Deep-Sea Res.,* 23: 353-370.

Malanotte Rizzoli P. & Bergamasco A. 1983. The dynamics of the coastal region of the Northern Adriatic Sea. *J. Phys. Oceanogr.,* 13: 1105-1130.

Malanotte Rizzoli P., Manca B., Ribera d'Alcala' M., Theocharis A., Bergamasco A., Bregant D., Budillon G., Civitarese G., Georgopoulos D., Korres G., Michelato A., Sansone E., Scarazzato P., Souvermezoglou E. 1997. A synthesis of the Ionian Sea hydrography, circulation and water mass pathways during POEM phase I. *Prog. Oceanogr.,* 39: 153-204.

Orlic M., Gacic M. & La Violette P.E. 1992. The currents and circulation of the Adriatic Sea. *Oceanol. Acta,* 15, 2: 109-124.

POEM Group (The). 1992. General circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth-Science Reviews,* 32: 285-309.

Pollak M.J. 1951. The sources of the deep water of the Eastern Mediterranean Sea. *J. Mar.Res.,* 10: 128-152.

Roether W. & Schlitzer R. 1991. Eastern Mediterranean deep water renewal on the basis of CFM and tritium data. *Dyn. Atmosf. and Oceans,* 15: 333-354.

UNESCO. 1981. Background papers and supporting data in the International Equation of State of Seawater. *Technical Papers in Marine Science,* 38: 192 pp.

UNESCO. 1983. Algorithms for computations of fundamental properties of seawater. *Technical Papers in Marine Science,* 44: 53 pp.

UNESCO. 1985. The international System of units (SI) in oceanography. *Technical Papers in Marine Science,* 45: 124 pp.

Zore-Armanda M. 1963. Les Masses d'eaux del la Mer Adriatic. *Acta Adriat.,* X, 3: 89 pp.

Zore-Armanda M. 1969. Water exchange between the Adriatic and Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Res.,* 16: 171-178.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 415 - 424.

DINAMICA DELLA FASCIA COSTIERA: MODIFICAZIONI NATURALI E ANTROPICHE

Francesco MARABINI

Istituto Geologia Marina - C.N.R. - Via Gobetti 101 - Bologna

ABSTRACT

Since the beginning of this century the coastal zone has been affected by widespread regression which reached the critical stage after 1950, this situation is in contrast with the general trend of accretion that has affected the coastal areas in the past century. Today the forty-five percent of the 8000 Km of the Italian coasts threatened by a progressive and general regression of the shoreline.

If one considers the intense interventions of man on its coasts for tourist purposes, by demolishing the dunes to create beach areas, summer residential and marine areas; the diminished fluvial sediment load to the sea by haphazard removal of riverbed material; the increased subsidence caused by groundwater, gas and oil extraction in areas too close to the sea; one obtains a picture which easily explains the rapid instability of this coastal environment. This situation is present not only along the Italian coast but, in a greater or lesser degree, includes the coastlines of many other countries.

These are the main undeniable reasons for the erosion but we must also consider the effect of the storm waves that always set off the erosion process of the coastline compromised by the phenomena described before with the result of an increase in the erosion rate.

Big storms are generally connected with rigid weather conditions, typical of a general climatic worsening. We know that the geological records testify several climatic changes.

The aim of this work is to consider the influence of natural climatic changes on the evolution of the Italian coastal zone and the possible implication, in modern times, of the man activity on the configuration of the present coastline.

1. PREMESSA

E' noto che negli ultimi decenni di questo secolo è esploso in tutta la sua gravita e su scala mondiale il degrado dell'ambiente costiero e uno degli aspetti più evidenti è dato dall'arretramento della linea di riva e dall'instaurarsi dei fenomeni erosivi.

Se si considerano l'intensa antropizzazione delle coste a fini turistici, con costruzione di numerosi porti turistici e con smantellamento delle dune per fare posto a centri balneari, villaggi residenziali; l'impoverimento dell'apporto solido dei fiumi al mare, per l'indiscriminato asporto di materiale dal letto dei corsi d'acqua e la subsidenza, accentuata per l'estrazione di idrocarburi e acqua in zone troppo vicine al mare (delta padano e laguna veneta) si ottiene un quadro che facilmente spiega la rapida destabilizzazione dell'ambiente costiero. Tale stato di cose non è presente solo sulle coste italiane, ma in misura più o meno estesa, in tutti i paesi rivieraschi.

In questo quadro di "disordine" ambientale, seguito ad un sempre più massiccio sfruttamento della fascia costiera, si inseriscono periodicamente eventi meteorologici avversi caratterizzati da forti piogge, piene rovinose dei corsi d'acqua e forti mareggiate che accrescono il degrado non solo della fascia costiera, ma anche della rete fluviale della zona retrostante.

Per una migliore comprensione della destabilizzazione della fascia costiera occorre quindi considerare qual'è l'influenza della possibile variazione periodica delle condizioni meteoclimatiche e come questa interagisce con la sempre più massiccia antropizzazione dell'ambiente naturale.

2. EVOLUZIONE DELLA FASCIA COSTIERA

L'ambiente costiero rappresenta un sistema assai complesso e strettamente connesso ai bacini idrografici dei corsi d'acqua che con il loro apporto solido alimentano le spiagge bilanciando l'azione distruttrice delle mareggiate.

Per poter verificare l'influenza delle variazioni climatiche sull'evoluzione della costa è quindi indispensabile quantificare i caratteri evolutivi soprattutto delle zone di foce dei corsi d'acqua che alimentano con l'apporto solido la fascia costiera.

La zona studiata è quella dell'Adriatico settentrionale con il delta del Po (Fig. 1) e se si analizza il "trend" evolutivo di questa morfologia dal 1600 ad oggi (Fig. 2) si nota un continuo avanzamento della linea costiera fino al 1953, anche se dall'inizio di questo secolo si verifica un rallentamento nella velocità di accrescimento dell'apparato deltizio. Il rilievo del 1964 mostra un'inversione di tendenza, con invasione del mare nella fascia più esterna del delta e conseguente arretramento della linea di costa.

Anche prima del 1600 si sono verificati grandi cambiamenti, sia naturali che artificiali, come testimoniano fonti storiche. Un importante evento, la "rotta di Ficarolo" avvenne nel XII secolo presso Ferrara, causando la deviazione verso N del ramo principale del Po (Fig. 3).

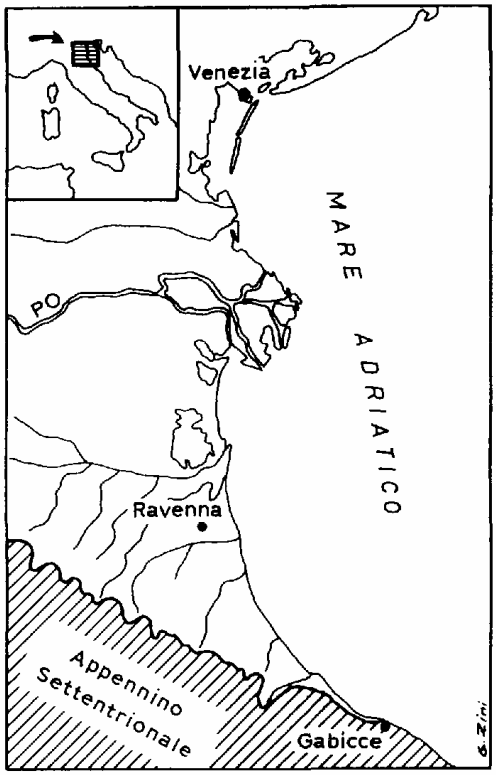


Fig. 1 - Zona costiera dell'alto Adriatico.

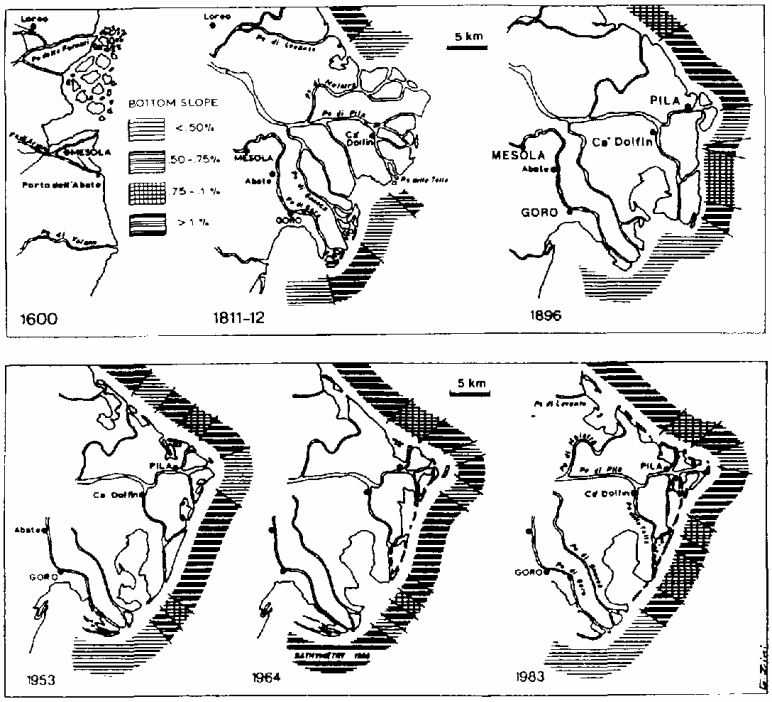


Fig. 2 - Evoluzione del delta del Po dal 1600 al 1983 con variazione di pendenza dei bassi fondali (Carbognin & Marabini, 1989).

Nel XVI secolo il continuo, forte apporto solido diretto verso N costrinse i Veneziani a deviare verso S, mediante il canale artificiale di Porto Viro (1602), il ramo principale del Po per evitare l'interrimento della laguna veneta (Figg. 4 e 5). La Fig. 6 mostra uno schema dell'evoluzione del delta del Po dal 1000 a.C. ad oggi (Nelson 1970) e verifica come il massimo avanzamento del delta sia avvenuto dal 1600 al 1750 e 1820 ed evidenzia il diminuito incremento dopo tale periodo.

Fino ad ora si è accettata, con ragione, l'idea che questo fenomeno dovesse essere imputato all'aumentato apporto detritico conseguente al taglio dei boschi, alla mancanza di difesa del suolo e alla coltivazione delle terre, specialmente nella fascia collinare del bacino idrografico del Po. In realtà, la progradazione dei delta in questo periodo è un fenomeno comune in tutta Europa e in generale nell'emisfero settentrionale: l'attività umana è senz'altro una concausa, ma per spiegare meglio il processo è utile considerare anche le variazioni climatiche.

Alla fine del secolo scorso Brückner (1890) pubblicò uno studio in cui ipotizzava una sequenza ricorrente di fluttuazioni climatiche basata sul confronto di dati metereologici che risultavano simili, negli stessi periodi, in parti differenti dell'emisfero settentrionale. Le variazioni climatiche sarebbero rappresentate da periodi freddo-umidi alternati a periodi caldo-secchi con durata dell'ordine di alcune centinaia di anni; l'ultima di queste oscillazioni freddo-umide inizia nel 1600 e termina nel 1850 ed è nota come "piccola età glaciale": attualmente saremmo quindi in un periodo caldo-secco. Entro questa sequenza di fluttuazioni climatiche a "grande scala" si evidenzia un'alternanza di più brevi cicli freddo-umidi e caldo-secchi con durata variabile da 10 a 35 anni, mediamente 20 anni (cicli di Brückner). Questa sequenza di fluttuazioni climatiche viene bene identificata dalle curve dendrocronologiche ed è interessante notare la coincidenza del maggior sviluppo del delta del Po con i periodi freddo-umidi della piccola età glaciale ed in particolare l'evento della "rotta di Ficarolo", in un periodo precedente di condizioni climatiche avverse (Fig. 7).

L'esame dei rilievi topografici del delta del Po dal 1600 ad oggi e la coincidenza del suo *trend* evolutivo con l'intera fascia costiera adriatica, ha permesso di formulare un'ipotesi suffragata dai fatti, almeno a grandi linee.

In un periodo freddo-umido l'equilibrio della zona costiera è regolato dal rapporto tra il grande apporto solido e la frequenza di mareggiate: se cioè l'apporto solido prevale per abbondanza sulla capacità di attacco da parte delle onde di tempesta, l'ampiezza della spiaggia tende ad aumentare, mentre se prevale la capacità distruttiva delle mareggiate, la linea di riva arretra. Durante il periodo caldo-secco, l'apporto solido al mare è scarso, ma anche le mareggiate sono meno frequenti, quindi la tendenza naturale è di oscillazioni della linea di riva attorno ad una posizione di equilibrio con, al massimo, qualche avanzamento. Ne deriva che i periodi di condizioni freddo-umido sono determinanti per l'evoluzione della fascia costiera.

Dal 1600 fino al secolo scorso il delta del Po si è sviluppato enormemente perché l'apporto solido, relativo alle condizioni climatiche della piccola età glaciale, era talmente enorme che le mareggiate non riuscivano ad incidere negativamente sull'equilibrio costiero. Successivamente le fluttuazioni climatiche di più modesta entità, con periodi da

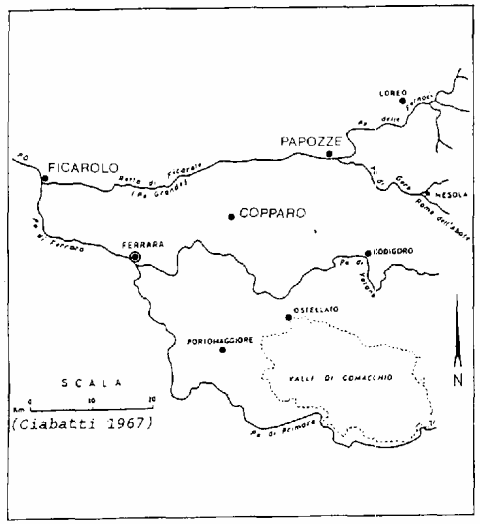


Fig. 3 - Idrografia del Po dopo la rotta di Ficarolo (Ciabatti, 1967).

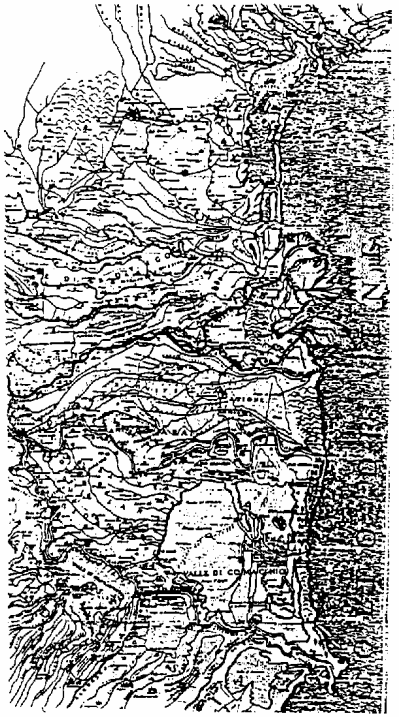


Fig. 4 - Sviluppo verso N del delta del Po nel 1600 prima del taglio di Porto Viro.

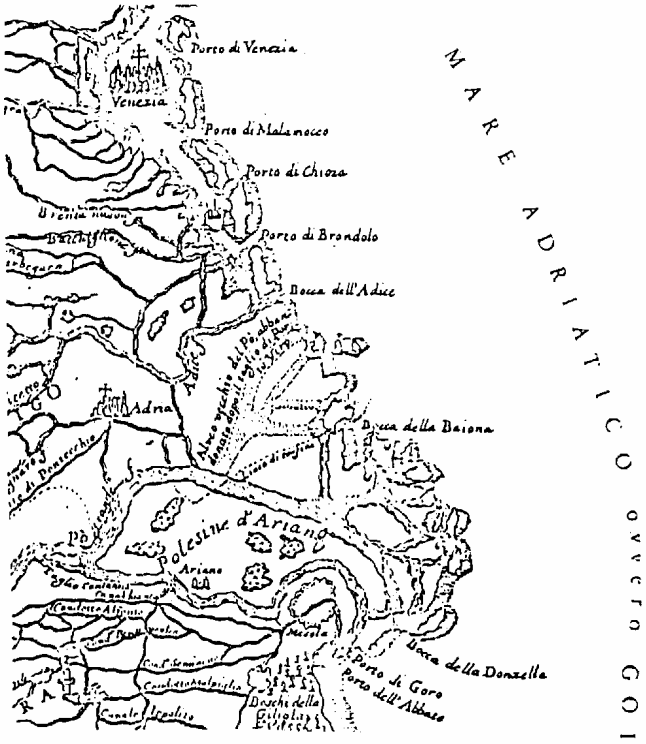


Fig. 5 - Sviluppo verso S del delta del Po dopo il taglio di Porto Viro in una mappa del 1717.

10 a 35 anni, hanno prodotto avanzamenti minori finché, dall'inizio di questo secolo con 11 culmine dopo gli anni '50, l'apporto solido dei periodi freddi è diventato insufficiente per la forte antropizzazione della fascia costiera e dell'ambiente retrostante. Ciò ha fatto sì che per il periodo freddo-umido degli anni '50 e '70 prevalesse l'azione del moto ondoso con la sua capacità distruttiva su un ambiente costiero non più adeguatamente rifornito di materiale da parte fluviale. Dall'inizio degli anni '80 è seguito un periodo caldo-secco, caratterizzato da scarsa piovosità e scarsa frequenza di forti mareggiate.

E' interessante notare come queste variazioni climatiche, valide per meglio comprendere l'evoluzione del delta del Po, siano presenti negli stessi periodi anche in altre parti del mondo.

In figura 8 sono riportate alcune curve dendrocronologiche in diverse zone (U.S.A., Europa) con gli stessi andamenti negli stessi periodi mostrando così come le variazioni climatiche siano di interesse generale e non legate a situazioni locali. La figura 9 riporta in un unico grafico le portate dei maggiori fiumi d'Europa e del fiume Giallo in Cina mostrando gli stessi andamenti negli stessi periodi a conferma che le fluttuazioni climatiche producono gli stessi effetti in ambienti naturali anche lontani tra loro: gli effetti delle fluttuazioni climatiche sull'evoluzione degli ambienti naturali risultano quindi di importanza primaria.

D'altra parte, se si considera un altro grande fiume che sbocca nel Mediterraneo, il Nilo, e si confronta il succedersi delle piene con una curva dendrocronologica dal 500 a.C. ad oggi si nota una corrispondenza delle magre con i periodi freddo-unidi (Fig. 10). Ciò è in contrasto con quanto esposto precedentemente, ma se si considera che il Nilo, dalla zona equatoriale dove nasce, riceve il massimo di piovosità prima di attraversare le zone desertiche del Sudan e dell'Egitto e quindi di arrivare al Mediterraneo, è possibile spiegare questa contraddizione.

La figura 11 mostra le variazioni di estensione delle fasce climatiche in Africa ed Europa (Ortolani & Pagliuca, 1995) durante i periodi freddo-umidi e caldo-secchi: il risultato del confronto indica che le fasce climatiche possono variare di 8°-10° di latitudine verso N e verso S causando un ampliamento della zona equatoriale durante i periodi più caldi e un ampliamento delle zone polari durante i periodi freddi.

La contrazione areale della zona equatoriale, durante i periodi più freddi, causa una diminuzione nella quantità di pioggia, mentre la riduzione in ampiezza, durante i periodi caldi, delle zone polari produce un ampliamento della fascia climatica equatoriale con conseguente aumento della quantità di piogge che causeranno un aumento di portata nelle ricorrenti piene del Nilo. Ciò significa che gli effetti sull'ambiente negli stessi periodi variano a seconda della latitudine e per questo il Po, i maggiori fiumi europei e il fiume Giallo mostrano lo stesso andamento a differenza del Nilo. Ne deriva che i fiumi compresi nella fascia di latitudine di 30°-50° subiscono gli stessi effetti negli stessi periodi caldo-secchi e freddo-umidi. Questo risultato permette di avere un nuovo e più completo punto di vista sulle fluttuazioni climatiche a breve e medio periodo e sui loro effetti sull'ambiente con particolare riguardo a quello costiero.

Dal punto di vista pratico, la previsione delle fluttuazioni climatiche riveste particolare importanza nella salvaguardia della fascia costiera in quanto permetterebbe di

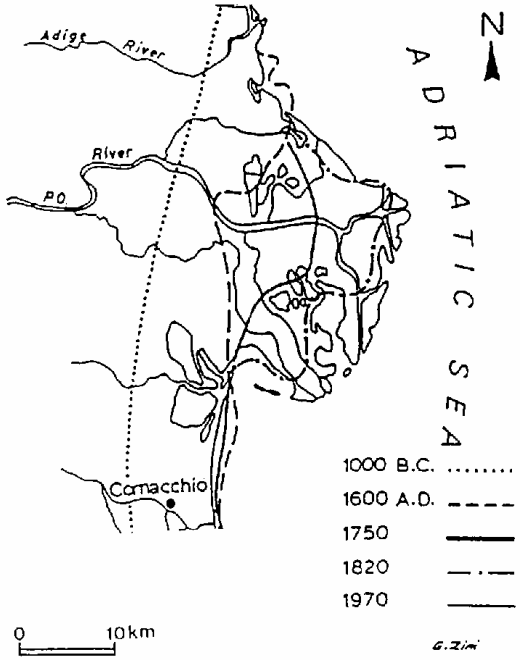


Fig. 6 - Evoluzione del delta del Po (Nelson, 1970).

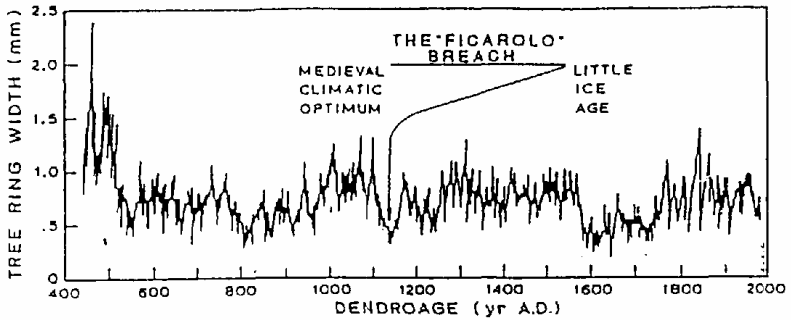


Fig. 7 - Curva dendrocronologica dal 436 ad oggi (Bartholin, 1984).

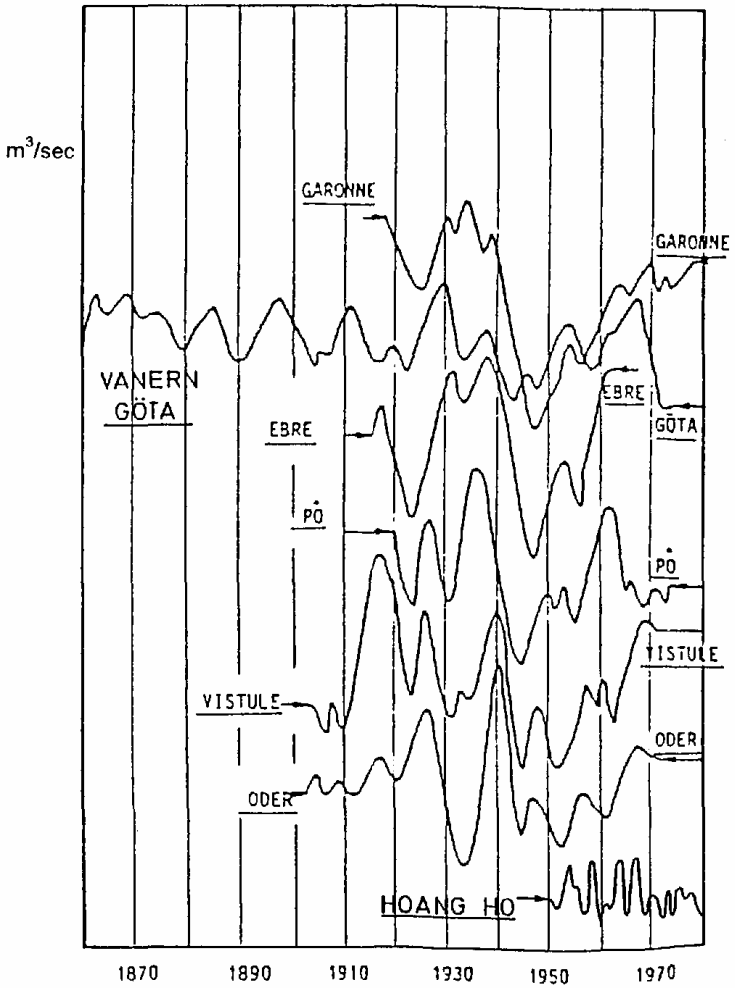
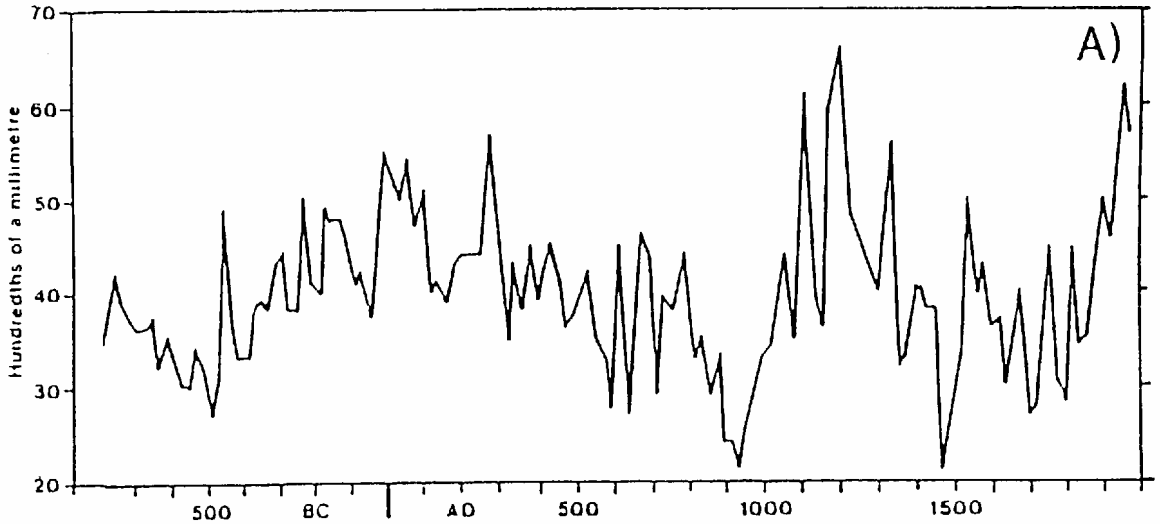
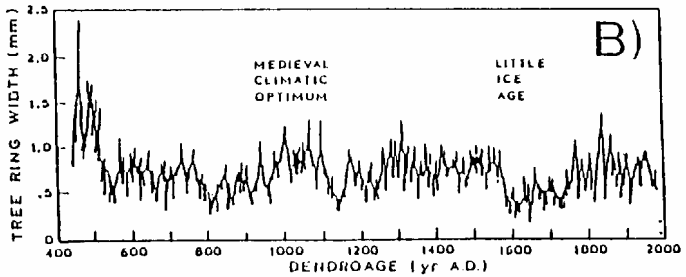


Fig. 9 - Andamento delle portate dei maggiori fiumi d'Europa (Tardy, 1986) e confronto con l'Hoang Ho in Cina.





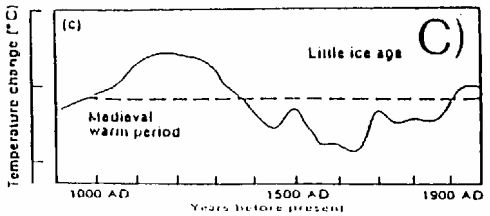


Fig. 8 - A) Curva dendrocronologica dei Monti White in California (Lamb, 1982).
B) Curva dendrocronologica riferita alla Svezia (Bartholin, 1984).
C) Variazione globale temperatura dall'anno 900 a.C. ad oggi (Lamb, 1982).

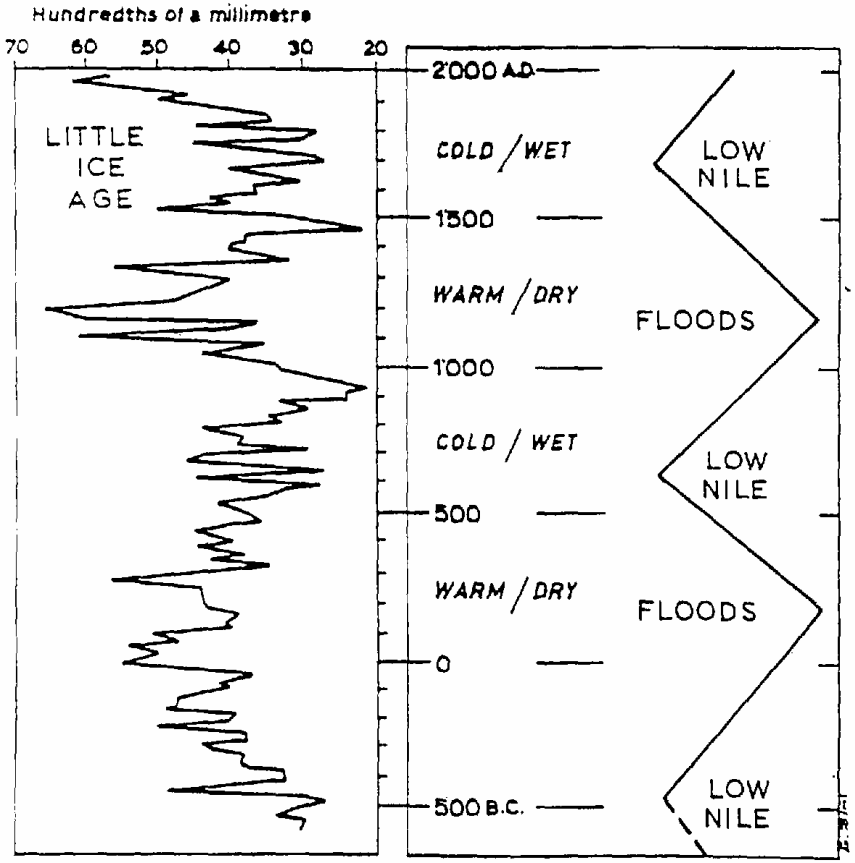


Fig. 10- Schema delle piene e magre del Nilo dal 500 a.C. ad oggi correlato alle fluttuazioni climatiche della curva dendrocronologica (da Ortolani & Pagliuca, 1995).

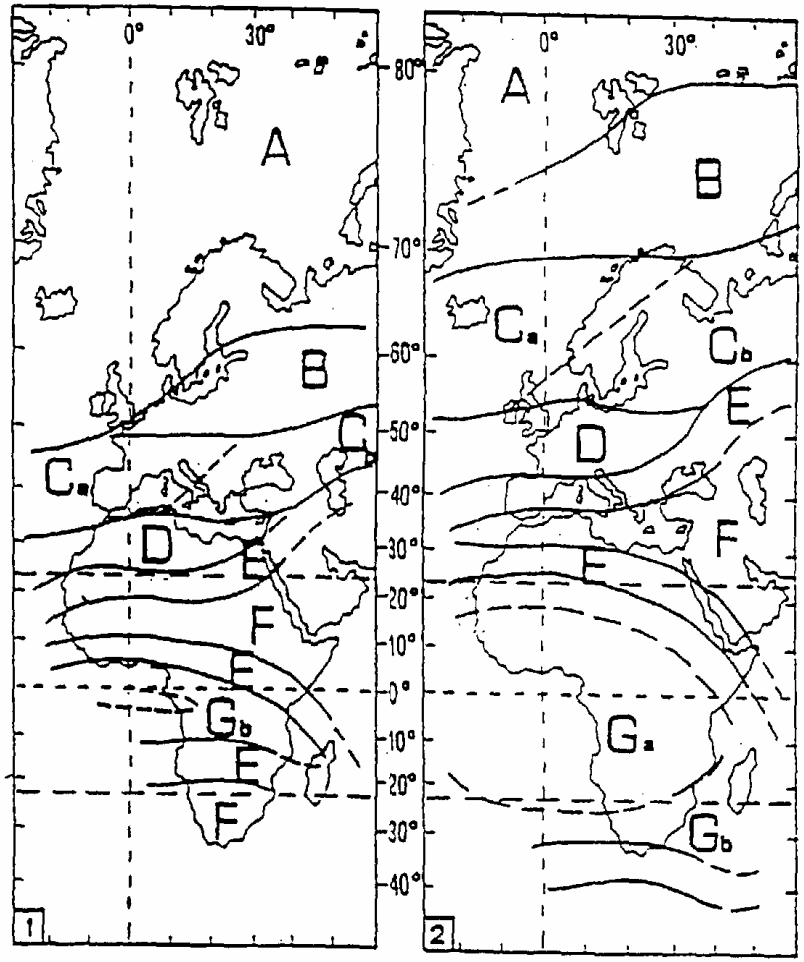


Fig. 11 - La variazione di ampiezza delle zone climatiche (Ortolani & Pagliuca, 1995). 1) Periodo freddo. 2) Periodo caldo.
Schema delle zone climatiche secondo la classificazione di Koppen-Geiger: A= zona polare di tundra e permafrost; B= zona sub-artica di transizione freddo-umida; C= zona oceanica (Ca) e continentale (Cb) umido-temperata; D= zona mediterranea caldo-temperata (con estate secca); E= zona della steppa di transizione semiarida; F= zona caldo-arida desertica; G= zona equatoriale della foresta pluviale (Ga) e Savana (Gb).

poter svolgere un'azione preventiva di difesa e non, come è avvenuto fino ad oggi, di intervenire dopo l'evento destabilizzante con costi enormi e risultati spesso poco soddisfacenti.

BIBLIOGRAFIA

Bartholin T.S. 1984. Dendrochronology in Sweden. In: *Climatic changes on a yearly to millennial basis* (Morner N.A. & Karien W. eds). D. Reidei P.C., Dordrecht: 261-262.

Brückner E. 1890. Klimaschwankungen seit 1700 nebest Bemerkungen tiber die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. *Geographische abbandlungen,* B. IV. H. 2, Wien: 153-184.

Carbognin L. & Marabini F. 1995. Evolutional trend of the Po River delta (Adriatic Sea, Italy). Proceedings The 28th International Geological Congress, Washington D.C., U.S.A., July 9-19, vol. I: 238-239.

Ciabatti M. 1967. Ricerche sull'evoluzione del delta padano, *Giornale di Geologia,* 2, vol. XXXIV, fase. 2, 26 pp.

Lamb H.H. 1982. Climate, history and the modern world, Methuen, London.

Marabini F. & Veggiani A. 1991. Evolutional trend of the coastal zone and influence of the climatic fluctuations. Atti del C.O.S.U., II-Long Beach, U.S.A., 2-4 April.

Nelson B.W. 1972. Mineralogical differentiation of sediments dispersed from the Po delta. In: The Mediterranean Sea, a Natural Sedimentation Laboratory (Stanley DJ. ed.): 441-453.

Ortolani F. & Pagliuca S. 1995. Climatic variations and crised in the anthropized environment in the Mediterranean region. Proceedings Geosciences and Archeology Seminar. Special pubbl. n. 70, Cairo: 113-126.

Tardy Y. 1986. Le cycle de l'eau. Climats, paleo climats et geochimic globale. Masson, Paris: 169-209.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 425 - 436.

INFLUENZA DELLA TESSITURA GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI SULLA DISTRIBUZIONE DELLO ZOOBENTHOS ASSOCIATO AL LITORALE SABBIOSO DEL LAGO DI VICO (ITALIA CENTRALE)

Luciana MASTRANTUONO, Pierluigi BALBETTI

Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università "La Sapienza" di Roma

ABSTRACT

The littoral sandy substrates of Lake Vico (Central Italy) were analyzed in order to identify the zoobenthic structure and its relationships with the grain size composition of the sediment. Analyses of qualitative and quantitative similarity among stations and Pearson's correlations between sediment fractions and densities of organisms, revealed a strong influence of sediment composition on benthic structure. Among the faunal groups, nematods and chironomids were the more sensitive organisms, being positively related to notable amounts of fine sediments. Moreover, well balanced amounts of fine and coarse materials seemed to offer a good condition to develop high species richness and densities of the entire community.

1. INTRODUZIONE

Lo zoobenthos associato ai sedimenti sabbiosi litorali del Lago di Vico, studiato in una prima indagine negli anni 1985-86 (Mastrantuono & La Rocca, 1988), è stato oggetto di una seconda e più estesa campagna di prelievi (1993-94) mirata sia ad ottenere ulteriori conoscenze sulla composizione faunistica che a verificare la qualità ambientale del bacino alla luce dei risultati emersi precedentemente, che avevano evidenziato incrementi trofici in due aree lacustri. L'interesse allo studio del lago scaturisce anche dalla sua particolare collocazione, essendo situato per i due terzi nella "Riserva Naturale Parziale del Lago di Vico", che ospita modesti e limitati insediamenti a scopo turistico, ma comprende estese coltivazioni a nocciolo che occupano un'ampia area della caldera a nord del bacino, e che costituiscono una potenziale fonte di preoccupazione per la qualità dell'acqua.

Questo studio si inquadra inoltre in una serie di ricerche sullo zoobenthos dei sedimenti sabbiosi lacustri (Mastrantuono, 1986, 1995; Mastrantuono & La Rocca 1988; Mastrantuono *et al.,* 1992; Mastrantuono & Baldetti, 1996) intraprese allo scopo di definire O ruolo di questa comunità nella valutazioni di qualità ambientale e che hanno consentito l'individuazione di taluni parametri comunitari (bioindicatori e bioindici) adatti a questa finalità. Numerose indagini (Lang & Lang-Dobler, 1979; Jonasson, 1984;

Reynoldson, 1987; Särkkä, 1994), che riguardano soprattutto il benthos profondo e i cui risultati si possono estendere solo in parte agli invertebrati delle zone litorali, hanno compiutamente dimostrato che le caratteristiche del sedimento (ed in particolare il contenuto di ossigeno, di materia organica, di nutrienti, di composti del carbonio e di fonti di cibo) sono determinanti nel ruolo che taluni gruppi e/o specie rivestono come bioindicatori. Per questo motivo lo studio del rapporto organismi-sedimento può fornire elementi utili negli studi rivolti al biomonitoraggio ambientale.

Per quanto riguarda i sedimenti sabbiosi marginali va però sottolineata la particolare rilevanza della granulometria, che è un fattore notevolmente variabile e che è stato oggetto di alcune indagini (Cole & Weigmann, 1983; McMurtry *et al,* 1983; Vodopich & Cowell, 1984; Winnell & Jude, 1984, Sauter & Güde, 1996) che hanno cercato di mettere in luce la sua possibile influenza su taluni invertebrati bentonici. Il modesto numero di studi rivolti a questo tema in ambiente lacustre ha suggerito l'opportunità di dedicare ad esso particolare attenzione, tenendo altresì in considerazione alcune interessanti osservazioni emerse da una indagine condotta sulla stessa comunità nel Lago di Bracciano (Mastrantuono, in stampa).

2. AREA DI STUDIO E METODI

II Lago di Vico è un bacino di origine vulcanica situato a nord di Roma ad un'altitudine di 510 m s.l.m., ha una superficie di 12.081 km^2, perimetro di 16,9 km, profondità massima di 48,5 m e bacino imbrifero ridotto (42 km^2). E' presente un solo emissario artificiale (Rio Vicano, subaffluente del Tevere) costruito nel XVI secolo, che determinò un notevole abbassamento di livello del lago (Fig. 1) consentendo l'acquisizione a scopo agricolo (noccioleti) dei terreni prosciugati (Barbanti, 1969).

I prelievi di sabbia litorale sono stati effettuati con periodicità bimestrale (maggio 1993-marzo '94) in 6 stazioni di raccolta (Fig. 1), ad una profondità di 0,5-1 m mediante una benna a chiusura (area di campionamento: 42 cm^2). Sono stati raccolti 108 campioni di cui 72 utilizzati per l'analisi faunistica e 36 per quella granulometrica. Il materiale faunistico è stato fissato in formalina al 5 %: gli organismi macrobentonici sono stati separati dal sedimento con metodo visuale, quelli meiobentonici tramite l'ausilio di uno stereomicroscopio. Tutti gli organismi, divisi per gruppi faunistici, sono stati poi conteggiati e allestiti opportunamente per l'identificazione sistematica.

Per l'analisi della tessitura granulometrica i campioni sono stati setacciati allo scopo di ottenere 4 frazioni (x_1>5mm, 5mm>X_2>lmm, lmm>X_3>0,25mm, X_4<0,25mm). Ciascuna frazione è stata essiccata a 60 °C per 12 ore e pesata (peso secco).

Per operare un confronto fra stazioni sono stati applicati indici di similarità qualitativa (QS, Sorensen, 1948) e quantitativa (PSc, Renkonen, 1938). Le matrici ottenute sono state rappresentate mediante cluster, secondo il metodo UPGMA (Sneath & Sokal, 1973).

3. RISULTATI

3.1. Tessitura granulometrica del sedimento

L'analisi della tessitura granulometrica del sedimento, rappresentata come percentuali medie annue delle singole frazioni alle sei stazioni di raccolta (Fig. 2), ha messo in evidenza molto chiaramente le notevoli differenze fra l'area nord e quella sud del lago: infatti nelle stazioni 1 e 2, e subordinatamente 3, il sedimento è classato, con le quattro componenti ben rappresentate mentre nelle rimanenti è fortemente caratterizzato da frazioni grossolane (soprattutto nella st. 4) e medio-grosse (stazioni 5 e 6), e da percentuali fortemente ridotte della frazione fine ($x < 0.25$ mm). Se si osserva la Fig. 1 risulta evidente che tale situazione può essere direttamente correlata alla morfologia della caldera in quanto l'area nord del lago è manifestamente influenzata dalla presenza dei terreni pianeggianti a coltivo che determinano, attraverso il dilavamento, un consistente apporto di materiale più fine. Tale apporto è pressoché impossibile nella zona a sud, dove mancano estensioni di terra e dove i pur limitati insediamenti a scopo turistico e la presenza di una strada isolano la costa dagli influssi della parte retrostante.

3.2. Composizione e distribuzione della fauna

II popolamento zoobentonico è risultato costituito da 14 gruppi faunistici, composti da 100 taxa di cui 65 specie, 23 generi e 12 taxa di categoria tassonomica superiore (Tab. 3). La notevole ricchezza specifica osservata è dovuta sia alla cospicua diversificazione dei gruppi dominanti (Oligocheti: 27 taxa, Chironomidi: 20, Nematodi: 17) che alla notevole presenza qualitativa dei gruppi minori, che rappresentano il 30 % circa del totale dei taxa. L'analisi della struttura quantitativa (Tab. 1) ha evidenziato una comunità caratterizzata da una tipica associazione a Oligocheti (14682 ind/m^2, densità media annua), Nematodi (12619 ind/m^2), Copepodi (8774 ind/m^2) e Ditteri Chironomidi (6738 ind/m^2), che insieme costituiscono il 92% della fauna totale. Anche gli Ostracodi hanno mostrato una consistente presenza (4 %), mentre i rimanenti gruppi raggiungono moderati valori, secondo un andamento già rilevato in laghi precedentemente studiati (Mastrantuono, 1986, 1995, e in stampa; Mastrantuono & La Rocca, 1988).

L'analisi della composizione qualitativa del popolamento zoobentonico alle sei stazioni di raccolta (Fig. 3) ha evidenziato chiaramente la differente struttura faunistica nelle aree nord e sud del lago: le stazioni 1, 2 e 3, dove è stato rilevato un sedimento classato, sono risultate caratterizzate da un elevato numero di specie equamente ripartite fra le entità sistematiche, mentre le stazioni 4, 5 e 6, dove prevalgono le frazioni granulometriche grossolane, hanno mostrato una minore ricchezza specifica, soprattutto a causa di una forte riduzione di taxa appartenenti a Nematodi e Chironomidi, e al tempo stesso una maggiore presenza di taxa appartenenti a gruppi minori (raggnippati come Alia). La netta differenza fra le due regioni lacustri appare ancora più accentuata se si osservano i dati quantitativi (Fig. 3) che dimostrano la presenza di un abbondante popolamento nelle prime tre stazioni (1, 2 e 3) e una nettissima riduzione delle densità, estesa a tutti i gruppi faunistici, nelle rimanenti (4, 5 e 6).

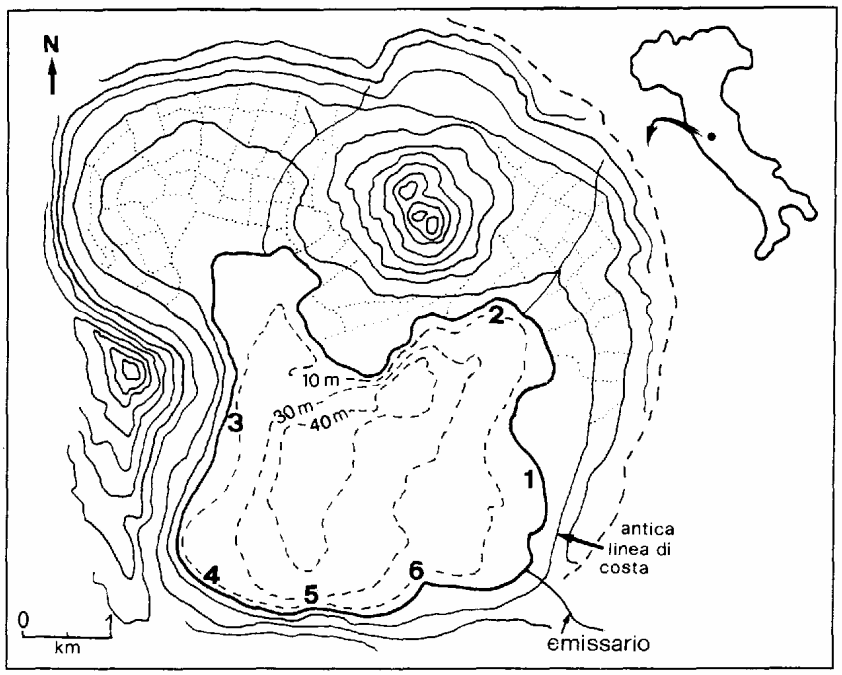


Fig. 1 - Cartina del Lago di Vico e posizione della stazioni di raccolta.

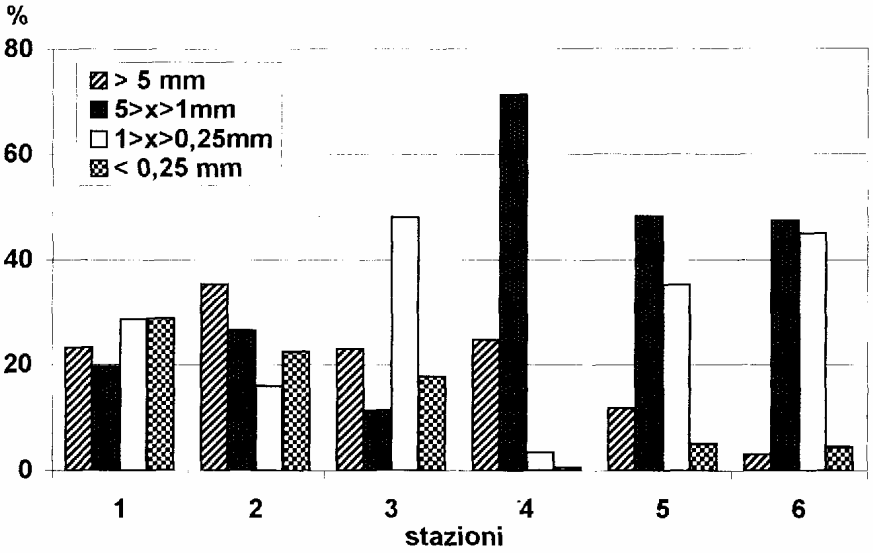


Fig. 2 - Tessitura granulometrica dei sedimenti alle stazioni di raccolta del Lago di Vico.

Tab. 1- Composizione qualitativa e quantitativa (densità medie annue: ind/m²) dello zoobenthos associato al substrato sabbioso del Lago di Vico.

	taxa	densità	%
Turbellaria	6	387	0.8
Oligochaeta	27	14682	31.6
Nematoda	17	12619	27.1
Cladocera	7	724	1.6
Copepoda	6	8774	18.9
Ostracoda	3	2066	4.4
Isopoda	1	3	0.007
D. Chironomidae	20	6738	14.5
D. Ceratopogonidae	1	76	0.2
Trichoptera	2	10	0.02
Acarina	1	122	0.3
Hydracarina	4	132	0.3
Bivalvia	1	60	0.1
Gastropoda	4	90	0.2
totale	100	46484	-

La differenza fra le aree nord e sud del lago, emersa con evidente analogia sia dall'esame della composizione zoobentonica che di quella granulometrica (Figg. 2 e 3) ha suggerito dunque l'ipotesi che proprio la tessitura del sedimento potesse essere il fattore determinante la diversa composizione faunistica osservata.

Allo scopo di ottenere una immagine più chiara del fenomeno è stata effettuata una misura di similarità fra stazioni mediante un indice quantitativo (PSc) sia sui dati delle singole frazioni granulometriche (medie annue) che sui dati faunistici (su densità medie annue di tutti i taxa identificati). Ai dati faunistici è stato inoltre applicato un'indice di similarità qualitativa (QS), basato su presenza-assenza dei taxa alle stazioni. Le matrici di similarità ottenute sono state rappresentate mediante cluster. Un rapido confronto fra i cluster (Fig. 4) mette chiaramente in rilievo significative corrispondenze nell'aggregazione fra le stazioni. Le stazioni 1, 2 e 3 appaiono infatti aggregate in modo identico nei tre cluster, per quanto concerne le stazioni 4, 5 e 6 è evidente la medesima aggregazione per le stazioni 5 e 6 e solo la 4 è diversamente collegata alle altre nel cluster dei dati granulometrici.

Per valutare con maggior dettaglio l'entità delle relazioni osservate, sono state inoltre effettuate misure di correlazione lineare (r) fra le densità medie annue sia di ciascun gruppo faunistico che di tutti i taxa identificati (dati cumulativi delle sei stazioni di raccolta) e i dati percentuali (medie annue) delle quattro frazioni granulometriche (Tabb. 2 e 3).

L'esame della Tab. 2 mostra che la fauna totale ha una elevata correlazione positiva (statisticamente significativa: $p < 0,001$) con la frazione granulometrica più fine ($x<0,25$ mm) mentre è negativamente correlata ($p < 0,1$) con la ghiaia fine ($l<x<5$ mm): un tale risultato riflette il fatto che su 100 taxa (Tab. 3) 75 sono risultati positivamente correlati alla sabbia fine (18 di questi in modo statisticamente significativo) mentre 80 su

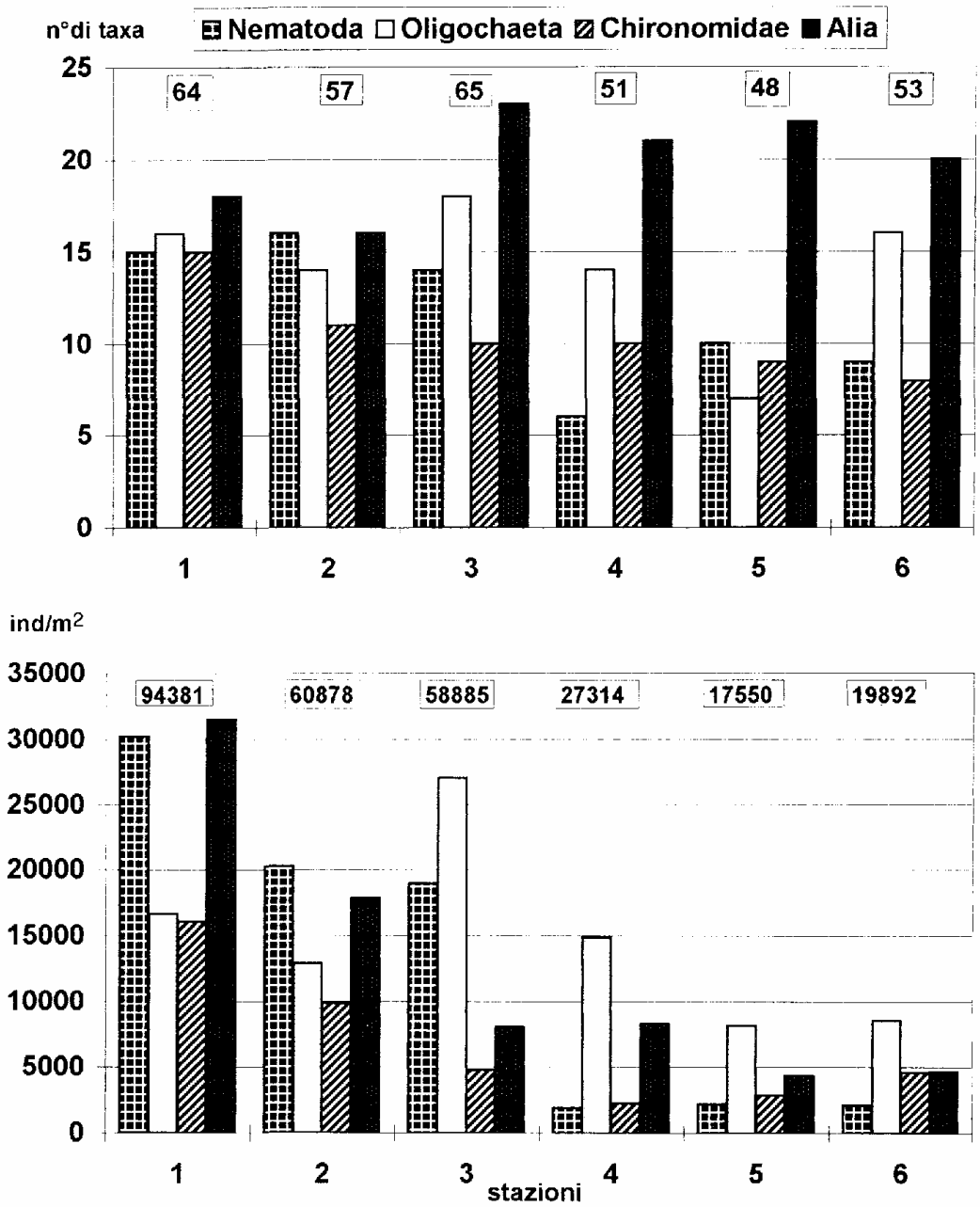


Fig. 3 - Composizione qualitativa e quantitativa degli invertebrati alle stazioni di raccolta del Lago di Vico.

100 sono negativamente correlati alla ghiaia fine (10 in modo statisticamente significativo). Le altre due frazioni granulometriche sembrano assumere minore, ma differente importanza: la fauna totale appare positivamente correlata (r=0,60) alla ghiaia grossa (x>5mm), anche se in modo non significativo (inoltre 76 su 100 taxa sono positivamente correlati a questa frazione, solo 3 in modo significativo), mentre la frazione di sabbia medio-grossa (0,25<x<l mm) è quella che ha evidenziato una relazione più "neutra" con la fauna, dati i valori di correlazione con la fauna totale prossimi a 0 e una situazione di parità fra i segni positivi e negativi dei valori di r per i singoli taxa (pochi i casi di relazione statisticamente significativa e numerosi valori di correlazione prossimi allo 0).

Se si esaminano nel dettaglio i valori che si riferiscono ai diversi gruppi zoologici (Tab. 2) si può riscontrare come quasi tutti presentino elevata correlazione positiva con la sabbia fine (5 di essi con valori statisticamente significativi), ed elevata correlazione negativa (4 con valori statisticamente significativi) con la ghiaia fine. Nessun valore statisticamente significativo è invece emerso per quanto riguarda le altre due frazioni. I Nematodi sono gli organismi che hanno mostrato la più elevata correlazione positiva (r=0,99, p<0,001) con la frazione fine del sedimento (tutte le specie sono positivamente correlate e 7 di esse in modo statisticamente significativo, Tab. 3). Anche i Chironomidi, seppure con valori inferiori, hanno evidenziato una correlazione positiva (r=0,90, p<0,01) con la frazione fine (4 i taxa correlati in modo significativo, Tab. 3) mentre sia Chironomidi che Nematodi sono negativamente correlati con la ghiaia fine, anche se con un livello di significatività inferiore per entrambi i gruppi (Tab. 2). Fra gli altri invertebrati gli Idracari hanno mostrato un andamento analogo, mentre va segnalata la situazione opposta per i Turbellari, negativamente correlati con la frazione fine e positivamente con la ghiaia fine (in modo significativo).

Un fenomeno da sottolineare è che proprio gli Oligocheti, che comprendono i taxa più importanti come bioindicatori, non hanno evidenziato, come gruppo, alcuna correlazione statisticamente significativa con le quattro frazioni granulometriche (Tab. 2), anche se va rimarcato che due fra i taxa indicatori di elevata trofia *(Limnodrilus hoffmeisteri* e *Potamothrix heuscheri)* hanno mostrato una correlazione positiva (r=0,77, p<0,05) con la frazioni fine e medio grossa rispettivamente (Tab. 3).

4. CONCLUSIONI

Le osservazioni scaturite da questi primi risultati, pur rappresentando una fase ancora iniziale di studio, mettono chiaramente in evidenza l'influenza della tessitura granulometrica sulla densità e sulla struttura qualitativa degli invertebrati, in accordo con alcuni dati emersi da un'indagine effettuata nel Lago di Bracciano sulla stessa comunità (Mastrantuono, in stampa). Il presente studio ha inoltre consentito di mettere in evidenza che Nematodi e Chironomidi sono i gruppi maggiormente legati alla presenza di materiale fine, un fenomeno precedentemente rilevato, seppure in modo parziale, da alcune misure di correlazione effettuate sui dati riferiti al Lago di Bracciano (dati non pubblicati). Questo risultato appare anche in accordo con precedenti osservazioni di altri autori (Nalepa & Quigley, 1983; Winnell & Jude, 1984) che avevano evidenziato fenomeni di dipendenza dal substrato di Chironomidi e Nematodi e, per quest'ultimo

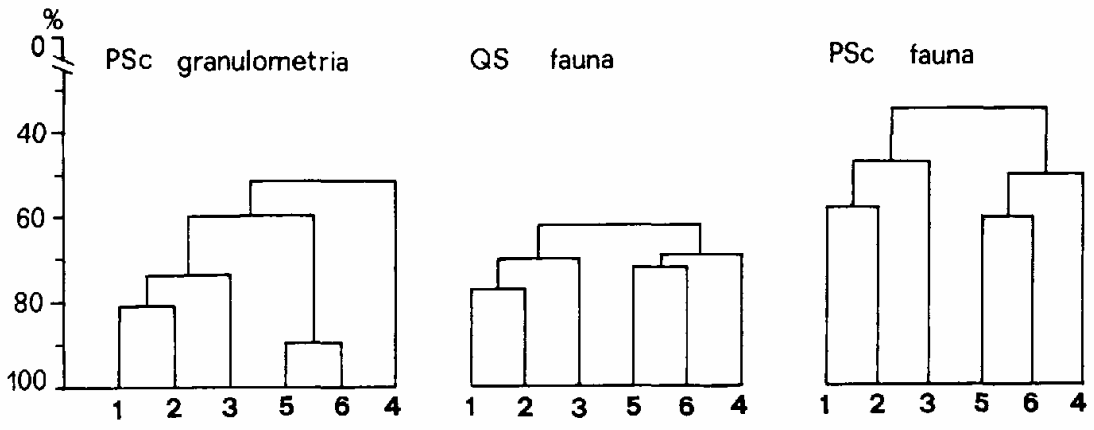


Fig. 4 - Rappresentazione in cluster delle matrici di similarità quantitativa (PSc) e qualitativa (QS) fra le stazioni calcolate sui dati granulometrici e faunistici.

Tab. 2 - Coefficienti di correlazione lineare (r) calcolati fra i valori di densità medie annue dei gruppi zoologici e della fauna totale e le percentuali medie annue delle quattro frazioni granulometriche alle sei stazioni di raccolta. (p): livello di significatività.

fraz. granulometrica	x < 0,25 mm		0,25<x<1mm		1<x<5 mm		x>5 mm	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Turbellaria	-0,90	0,01	-0,10	-	0,83	0,05	-0,57	-
Nematoda	0,99	0,001	0,05	-	-0,84	0,05	0,59	-
Oligochaeta	0,44	-	0,19	-	-0,60	-	0,45	-
Cladocera	0,58	-	0,07	-	-0,33	-	-0,05	-
Copepoda	0,79	0,05	-0,24	-	-0,44	-	0,44	-
Ostracoda	0,65	-	-0,29	-	-0,46	-	0,70	-
Isopoda	-0,35	-	0,17	-	0,24	-	-0,37	-
D. Chironomidae	0,90	0,01	-0,06	-	-0,62	-	0,40	-
D. Ceratopogonidae	-0,26	-	0,50	-	-0,14	-	-0,24	-
Trichoptera	0,52	-	0,51	-	-0,75	0,1	0,18	-
Acarina Oribatei	0,33	-	0,36	-	-0,63	-	0,36	-
Hydracarina	0,78	0,05	0,18	-	-0,85	0,05	0,61	-
Bivalvia	0,51	-	-0,40	-	-0,10	-	0,30	-
Gastropoda	0,29	-	0,46	-	-0,58	-	0,15	-
Fauna totale	0,96	0,001	-0,03	-	-0,76	0,1	0,60	-

Tab. 3 - Taxa identificati e rispettivi valori di correlazione lineare (r) con le frazioni granulometriche. numeri in neretto: statisticamente significativi.

Frazioni granulometriche (mm)	< 0.25	0.25-1	1 - 5	> 5
TURBELLARIA				
Macrostomum sp.	-0.67	-0.66	**0.84**	0.02
Dalyellidae indet.	**-0.88**	-0.16	**0.87**	-0.58
Olisthanella sp.	-0.64	0.19	0.55	**-0.74**
Mesostoma sp.	0.40	-0.38	-0.24	0.66
Gyratrix hermafroditicus Ehremberg	0.05	0.69	-0.50	-0.11
Turbellaria indet.	**-0.82**	0.23	0.67	**-0.86**
NEMATODA				
Monhistera stagnalis Bastian	**0.76**	0.01	-0.51	0.22
Theristus setosus (Bütschli)	**0.91**	-0.05	-0.64	0.43
Aphanolaimus aquaticus (Daday)	0.66	0.52	**-0.82**	0.15
Ethmolaimus pratensis De Man	**0.77**	-0.15	-0.68	0.79
Chromadorita leuckarti (De Man)	0.31	0.55	-0.66	0.16
Diplogaster rivalis (Leydig)	0.40	-0.38	-0.24	0.66
Tripyla glomerans (Bastian)	0.55	0.10	-0.30	-0.11
Tobrilus gracilis (Bastian)	0.48	0.09	-0.63	0.65
Tobrilus helveticus (Hofmänner)	0.50	0.26	**-0.72**	0.54
Tobrilus longicauda (Linstow)	0.20	0.53	-0.57	0.12
Tobrilus pellucidus (Bastian)	0.44	0.31	-0.61	0.29
Tobrilus stefanski (Hofmänner)	**0.86**	0.25	**-0.92**	0.58
Ironus tenuicaudatus De Man	**0.76**	-0.09	-0.44	0.24
Mononchus truncatus Bastian	**0.75**	-0.12	-0.44	0.31
Mylonchulus sigmaturus (De Man)	**0.72**	0.23	**-0.76**	0.43
Plectus sp.	0.60	0.28	-0.70	0.36
Dorylaimina indet.	0.71	0.33	**-0.81**	0.39
OLIGOCHAETA				
Aeolosoma hemprichi Ehremberg	-0.37	0.44	0.22	**-0.74**
Chaetogaster diaphanus (Gruithuisen)	-0.27	0.69	-0.06	-0.67
Chaetogaster diastrophus (Gruithuisen)	**-0.84**	-0.34	**0.80**	-0.21
Uncinais uncinata (Ørstedt)	0.67	-0.02	-0.39	0.13
Amphichaeta leydigii Tauber	**0.78**	-0.12	-0.46	0.30
Pristina menoni (Aiyer)	0.02	0.05	-0.02	-0.06
Pristina longiseta Ehrenberg	-0.13	**0.73**	-0.35	-0.30
Pristina aequiseta Bourne	0.18	0.56	-0.57	0.09
Pristina foreli Piguet	0.08	0.70	-0.53	-0.09
Dero digitata (Müller)	0.67	-0.02	-0.39	0.13
Nais barbata (Müller)	0.13	0.45	-0.49	0.15
Nais simplex Piguet	-0.20	-0.25	0.09	0.40
Nais bretscheri Michaelsen	0.40	-0.38	-0.24	0.66
Nais pardalis Piguet	0.52	-0.36	-0.33	0.67
Nais elinguis Müller	0.44	**-0.82**	0.00	0.81
Nais variabilis Piguet	0.06	-0.42	-0.08	**0.73**
Nais communis Piguet	0.41	-0.22	-0.38	0.68
Nais christinae Kasparzak	0.64	-0.41	-0.37	0.71
Branchiura sowerbyi Beddard	0.59	-0.07	-0.30	0.10
Psammoryctes barbatus (Grube)	0.19	0.51	-0.56	0.13
Psammoryctes albicola (Michaelsen)	0.15	0.36	-0.45	0.19
Potamothrix hammoniensis (Michaelsen)	-0.37	0.44	0.22	**-0.74**
Potamothrix heuscheri (Bretscher)	-0.14	**0.77**	-0.28	-0.49
Limnodrilus hoffmeisteri Claparède	**0.77**	-0.01	-0.51	0.24
Limnodrilus udekemianus Claparède	0.20	0.53	-0.57	0.12
Enchytraeidae	-0.58	-0.45	0.57	0.15
Lumbriculidae	-0.57	**-0.72**	**0.77**	0.16
CLADOCERA				
Bosmina longirostris (O.F. Müller)	-0.25	0.61	0.10	**-0.89**
Ilyocryptus sordidus Lièvin	0.24	0.33	-0.13	-0.48

Tab. 3 - continua

Frazioni granulometriche (mm)	< 0.25	0.25-1	1 - 5	> 5
Monospilus dispar Sars	**0.89**	-0.13	-0.48	0.45
Camptocercus rectirostris Schoedler	0.20	0.53	-0.57	0.12
Alona rectangula Sars	0.24	0.42	-0.18	-0.52
Alona guttata (Sars)	**-0.78**	-0.32	**0.78**	-0.26
Biapertura affinis (Leydig)	**0.71**	-0.03	-0.42	0.16
COPEPODA				
Macrocyclops albidus (Jurine)	-0.59	**-0.73**	**0.78**	0.17
Eucyclops serrulatus (Fischer)	-0.62	-0.71	**0.81**	0.12
Eucyclops macruroides (Lilljeborg)	-0.67	-0.69	**0.83**	0.07
Paracyclops fimbriatus (Fischer)	**0.74**	-0.08	-0.44	0.23
Diacyclops crassicaudis (Sars)	**-0.72**	-0.44	**0.83**	-0.25
Harpacticoida	**0.94**	-0.04	-0.68	0.47
OSTRACODA				
Darwinula stevensoni (Br. et Rob.)	0.69	-0.29	-0.50	**0.74**
Limnocythere inopinata (Baird)	-0.34	-0.15	0.35	-0.12
Cypridopsis vidua (O.F. Müller)	-0.46	0.14	0.35	-0.45
ISOPODA				
Proasellus coxalis (Dollfus)	-0.35	0.17	0.24	-0.37
DIPTERA CHIRONOMIDAE				
Orthocladiinae indet.	0.20	0.53	-0.57	0.12
Psectrocladius	0.40	-0.38	-0.24	0.66
Cricotopus	**0.87**	-0.07	-0.59	0.39
Hydrobaenus	0.67	-0.02	-0.39	0.13
Tanytarsus	0.60	-0.08	-0.30	0.11
Cladotanytarsus	**0.76**	-0.14	-0.42	0.29
Procladius	0.61	0.01	-0.35	0.06
Tanypodinae	0.67	-0.02	-0.39	0.13
Pentaneurini	-0.63	0.07	0.58	-0.63
Pseudochironomus	0.67	-0.02	-0.39	0.13
Paratendipes	0.47	-0.07	-0.36	0.34
Stictochironomus	0.11	0.02	-0.08	0.01
Polypedilum nubeculosum gr.	0.67	-0.02	-0.39	0.13
Polypedilum breviantennatum Chernovsky	**0.95**	-0.05	**-0.80**	0.70
Polypedilum bicrenatum gr.	0.63	0.00	-0.36	0.08
Polypedilum laetum gr.	0.20	0.53	-0.57	0.12
Dicrotendipes	0.27	-0.58	-0.05	**0.73**
Chironomus	0.67	-0.20	-0.44	0.50
Cryptochironomus	**0.91**	0.12	-0.70	0.28
Paracladopelma	0.38	0.61	-0.42	-0.49
DIPTERA CERATOPOGONIDAE				
Ceratopogonidae indet.	-0.26	0.50	-0.14	-0.24
TRICHOPTERA				
Psychomia	0.20	0.53	-0.57	0.12
Trichoptera indet.	0.67	-0.02	-0.39	0.13
ACARINA				
Oribatei	0.33	0.36	-0.63	0.36
HYDRACARINA				
Limnesia sp.	**0.78**	-0.64	**0.84**	0.01
Neumania sp.	-0.70	0.03	-0.69	0.41
Lebertia sp.	**0.91**	0.21	**-0.80**	0.61
Forelia sp.	0.66	0.32	**-0.91**	0.52
GASTROPODA				
Lymnaea auricularia (L.)	0.08	0.60	-0.50	0.00
Theodoxus fluviatilis (L.)	0.39	0.33	-0.68	0.44
Valvata piscinalis (Müller)	-0.29	0.53	-0.06	-0.41
Bithynia tentaculata (L.)	0.64	-0.09	-0.51	0.49
BIVALVIA				
Pisidium spp.	0.51	-0.40	-0.10	0.30

grappo, l'importanza di un sedimento classato.

Una cospicua presenza di materiale fine è apparsa come l'elemento più importante per l'insieme della comunità, come si può desumere sia dall'identica aggregazione nei tre cluster delle stazioni a nord (1, 2 e 3) che dal maggior numero di taxa significativamente correlati a questa frazione granulometrica. Una non perfetta corrispondenza dei cluster per quanto riguarda le stazioni a sud (4, 5 e 6) e minor numero di correlazioni significative della fauna con la frazione ghiaia fine dimostra che l'influenza negativa dei materiali grossolani non è ugualmente marcata e uniforme. Molto interessante il fatto che la frazione più grossolana (ghiaia grossa e ciottoli) non abbia evidenziato la stessa influenza negativa della ghiaia fine. Una delle ipotesi possibili per spiegare questo fenomeno potrebbe risiedere in una diversa capacità abrasiva delle due frazioni: è infatti verosimile pensare che granelli più grandi e ciottoli lasciano interstizi più ampi per ospitare gli organismi provocando danni minori agli invertebrati. Non è invece facilmente spiegabile la scarsa influenza dimostrata dalla frazione sabbia media che ipoteticamente potrebbe assumere importanza in combinazione con altre frazioni. Ed è sia sulle diverse combinazioni possibili che su un maggior numero di frazioni che è necessario effettuare ulteriori dettagliate analisi allo scopo di ottenere un quadro complessivo più preciso.

Per quanto concerne i singoli taxa, i dati acquisiti circa il loro livello di correlazione col substrato sono da ritenere del tutto preliminari e ancora privi di adeguati supporti in letteratura, per questo sono indispensabili ulteriori approfondimenti e confronti con dati di diversi ambienti lacustri prima di ipotizzare un legame veramente stretto tra taluni di essi e determinate frazioni granulometriche.

BIBLIOGRAFIA

Barbanti L 1969. Lago di Vico: rilevamento batimetrico e note geomorfologiche. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.,* 25: 117-139.

Cole A. & Weigmann D.L. 1983. Relationships among zoobenthos, sediments, and organic matter in littoral zones of western Lake Erie and Saginaw Bay. *J. Great Lakes Res.,* 9: 56S-581.

Jonasson P.M., 1984. Oxygen demand and long term changes of profundal zoobenthos. *Hydrobiologia,* 115: 121-126.

Lang C. & Lang-Dobler B. 1979. The chemical environment of tubificid and lumbriculid worms according to the pollution level of the sediment. *Hydrobiologia,* 65: 273-282.

Mastrantuono L. 1986. Littoral sand zoobenthos and its relation to organic pollution in Lake Nemi (Central Italy). *Hydrobiol. Bull.,* 19: 171-178.

Mastrantuono L. 1995. The invertebrate community of littoral sandy shores in Lake Albano (Italy): fauna composition and ecological remarks. *Ecol. Mediter.,* 21: 101-112.

Mastrantuono L. Composition and structure of the invertebrate fauna in littoral sandy shores of Lake Bracciano (Central Italy) and water quality monitoring. *Limnetica* (in stampa).

Mastrantuono L., Amati F. & Nobili S. 1992. La fauna bentonica dei sedimenti sabbiosi litorali del Lago di Bracciano (Italia Centrale). 54° Congresso U.Z.I., 119-120.

Mastrantuono L. & Baldetti P. 1996. Composizione della comunità ad Invertebrati dei sedimenti litorali del lago di Vico (Italia Centrale) e qualità ambientale in differenti periodi di studio. 57° Congresso U.Z.I., 34.

Mastrantuono L. & La Rocca C. 1988. The invertebrate fauna in sandy shores of Lake Vico (Italy): its use in a trophic evaluation of littoral sediments. *Ecol. Mediter.,* 14: 121-129.

McMurtry M.J., Rapport D.J. & Chua K.E. 1983. Substrato selection by Tubificid Oligochaetes. *Con J. Fish. Aquat. Sci.,* 40: 1639-1646.

Nalepa T.F. & Quigley M.A. 1983. Abundance and biomass of the meiobenthos in nearshore Lake Michigan with comparison to the macrobenthos. *J. Great Lakes Res.,* 9: 530-547.

Renkonen O. 1938. Statistisch-okologische Untersuchungen iiber die terrestrische Kafferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. Variamo,* 6: 1-231.

Reynoldson T.B. 1987. The role of environmental factors in the ecology of tubificid oligochaetes, an experimental study. *Holarctic Ecol.,* 10: 241-248.

Särkkä J., 1994. Lacustrine profundal meiobenthic oligochaetes as indicators of trophy and organic loading. *Hydrobiologia,* 278: 231-241.

Sauter G. & Gilde H. 1996. Influence of grain size on the distribution of tubificid oligochaete species. *Hydrobiologia,* 334: 97-101.

Sneath P.H.A. & Sokal R.R. 1973. Numerical Taxonomy. Freeman & Co., San Francisco, California, 573 pp.

Sorensen T; 1948. A method of stabilizing groups of equivalent amplitude in plant sociology based on the similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons. *Biol. Skr.,* 5: 1-34.

Vodopich D.S. & Cowell B.C. 1984. Interaction of factors governing the distribution of a predatory aquatic insect. *Ecology,* 65: 39-52.

Winnell M. H. & Jude D.J. 1984. Associations among Chironomidae and sandy substrates in nearshore Lake Michigan. *Con. J. Fish. Aquat. Sci.,* 41: 174-179.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Voi II - Genova: A.I.O.L, 1998
Piccazzo M. (ed.): 437 - 446.

CARATTERIZZAZIONE DEL FIUME MIGNONE MEDIANTE APPLICAZIONE DI INDICI BIOTICI

José Giancarlo MORGANA, Susanna PRATO, Daniele ANTONELLI

E.N.E.A. Casaccia. Dipartimento Ambiente. Via Anguillarese 301 - Roma 00060

ABSTRACT

The biological monitoring of the Mignone River (Latium, Central Italy) based on analysis of macrobenthic community structure was carried out during spring-summer 1995-1996. The environmental quality was established in relation to the presence/absence of biological indicators of water pollution both in natural areas and in disturbed stretches, calculating two biological indices (I.B.E. and B.M.W.P.') at 10 sampling sites. Our results point out the worsening of water quality along the watercourse owing to the influence of stress sources like domestic sewage and stream flow regulation.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il monitoraggio biologico ha assunto una notevole importanza nella valutazione e nel controllo della qualità ambientale dei fiumi. In effetti l'uso sistematico di risposte biologiche (Matthews *et al.,* 1982) ha contribuito a stabilire i livelli di qualità di molti corsi d'acqua attraverso l'applicazione degli indici biotici. Questo tipo di metodologia si è rivelata di notevole utilità per le sue caratteristiche di praticità e di standardizzazione; è stato così realizzato il mappaggio di qualità di molti fiumi europei (Verneaux *et al,* 1982; De Pauw & Vanhooren, 1983; Alba-Tercedor *et al.,* 1992), che ha consentito, inoltre, di controllarne lo stato di qualità nel tempo. Gli indici biotici si basano, nella loro formulazione, sulla proprietà di bioindicatori dei taxa all'interno delle comunità di macroinvertebrati bentonici. Il calcolo degli indici risulta infatti correlato alla capacità intrinseca di tali comunità di "registrare", nella loro strut-tura, ogni eventuale forma di perturbazione antropica che si ripercuota sull'ecosistema fluviale. Uno scarico di tipo chimico, per esempio, determinerà sostanziali differenze strutturali nelle comunità bentoniche situate a valle di tale perturbazione, che saranno evidenziabili per un lungo tratto e per un lungo periodo di tempo. In tali situazioni possono essere calcolati gli indici biotici, prendendo in considerazione sia il numero di taxa riscontrati in ogni tratto, sia la loro sensibilità e/o tolleranza alle varie sorgenti di stress. A livello applicativo, l'entità delle modificazioni della struttura delle comunità bentoniche può essere sinteticamente

rappresentata da determinati valori di indici biotici che vengono infine tradotti in specifiche classi di qualità degli ambienti esaminati.

Nel nostro studio, ci siamo proposti di definire la qualità ambientale del Fiume Mignone (Alto Lazio) tramite l'applicazione degli indici biotici I.B.E. (Indice Biotico Esteso) (Ghetti, 1995; IRSA, 1995) e B.M.W.P.' (Biological Monitoring Working Party) (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1988), dalla zona delle sorgenti localizzate a Bassano di Sutri in provincia di Viterbo, fino alla foce nel Mar Tirreno in località S. Agostino, vicino Civitavecchia (RM).

L'applicazione di entrambi gli indici permette la classificazione in una scala di 5 classi di qualità (C.Q.), consentendo così di caratterizzare il Fiume Mignone lotico lungo l'intera asta fluviale e di confrontare le condizioni ecologiche attuali con quelle pregresse (Carchini *et al,* 1988).

2. AREA DI STUDIO

II fiume Mignone è lungo 65 km, nasce dai Monti Sabatini, vicino Bassano di Sutri (VT) e sfocia nel mar Tirreno in località S. Agostino (vicino Civitavecchia). Scorre per gran parte in aree di elevato interesse naturalistico, come le zone di Torre dell'Ischia, la Riserva Naturale Regionale di Monterano e le località di Rota, Riparossa e Luni sul Mignone. Le sue acque, captate a Monterano, sono utilizzate a scopo potabile dagli abitanti dei Comuni di Civitavecchia e S. Marinella. Le portate delle singole sorgenti, sono assai modeste. Unica eccezione è costituita dalla sorgente di Oriolo captata per uso potabile, che eroga globalmente circa 70 l/s. Il bacino del fiume Mignone (500 km^2; quota media 250 m s.l.m.) è compreso tra quello dei fiumi Marta, del Tevere, dell'Arrone ed altri minori e presenta una copertura vegetale del suolo prevalentemente costituita da seminativo (43.3%), pascoli (21.0%) e colture miste (2.6%) mentre i vari tipi di boschi ricoprono complessivamente il 20% del territorio (Amadio *et al,* 1985).

Il fiume Mignone è stato già preso in esame da molti autori che hanno focalizzato l'attenzione sulla qualità delle sue acque (Carchini *et al.,* 1988), sull'energetica (Fano *et al.,* 1988b), sui processi di decomposizione del detrito (Fano *et al,* 1988a) e sulla fauna ittica (Cataudella, 1977).

Le principali fonti di disturbo ambientale del fiume Mignone sono così identificabili: gli scarichi urbani provenienti dal Comune di Vejano (VT) (dotato di depu-ratore) e dal Comune di Canale Monterano (attraverso l'immissione dell'affluente Fosso Bicione); le attività agricole (ceduazione e pascolo lungo il tratto a monte e coltivazioni per lo più cerealicole nel tratto a valle); le attività estrattive di caolino (Torre dell'Ischia) e di ghiaia (Monte Romano); le modificazioni dell'alveo (diga nel Parco Naturale Regionale di Monterano, lo sbarramento artificiale fra Monte Romano e S.S. Aurelia).

La scelta delle stazioni di campionamento è stata realizzata tenendo in considerazione le fonti di disturbo sopraelencate, in modo da poter caratterizzare la qualità delle acque lungo l'intera asta fluviale. Sono state pertanto scelte le seguenti 10 stazioni (Fig. 1):

- stazione 1 : confluenza con il Fosso Scatenato, a poca distanza dalle sorgenti;
- stazione 2: località " La Lega", a valle del depuratore di Vejano;

- stazione 3: Torre dell'Ischia, vicino ad una cava di caolino;
- stazione 4: Parco "Mola di Oriolo";
- stazione 5: Riserva N.R. Monterano, dopo la confluenza con il Fosso Bicione;
- stazione 6: Rota, dopo la confluenza con il Fosso Verginese;
- stazione 7: Località Passo di Viterbo;
- stazione 8: Luni, a valle della confluenza del Fosso della Vesca;
- stazione 9: in prossimità della cava di ghiaia di Montericcio;
- stazione 10: tratto sottostante al ponte sulla S.S. Aurelia.

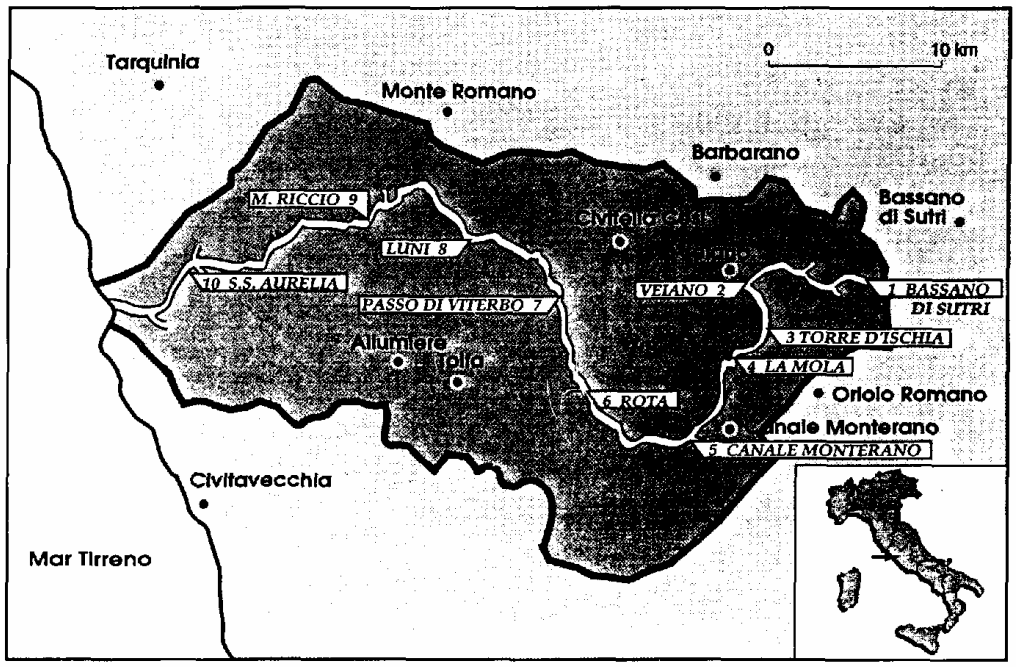


Fig. 1 - localizzazione delle 10 stazioni di campionamento sul Fiume Mignone.

3. MATERIALI E METODI

Le raccolte di macrozoobenthos sono state effettuate nel periodo primaverile-estivo del 1995 e 1996 in regime di morbida. I macroinvertebrati sono stati campionati con un retino immanicato standard (apertura maglie 0.4 x 0.5 cm^2) posizionato in contro corrente e scavando leggermente il substrato lungo un transetto trasversale obliquo, in modo da campionare in tutti i possibili microhabitat. I campioni raccolti sono stati smistati in campo per la raccolta di organismi visibili a occhio nudo; successivamente i campioni, fissati con formalina al 10% (ottima efficienza di conservazione) sono stati portati in laboratorio per la separazione dal detrito degli organismi più piccoli (es. Oligocheti). La definitiva classificazione della comunità di macroinvertebrati è stata realizzata identificando tutti gli organismi raccolti mediante l'utilizzo di stereomicro-scopi e di specifiche guide tassonomiche (Minelli, 1977; Froglia, 1978; Olmi, 1978; Tamanini, 1979; Castagnolo *et al,* 1980; Consiglio, 1980; Girod *et al,* 1980; Pirisinu, 1981; Zullini, 1982; Carchini,

1983; Belfiore, 1983; Moretti, 1983; Rivosecchi, 1984; Tachet *et al.,* 1987). I taxa sono stati identificati al livello delle unità sistematiche richieste dall'applicazione degli indici biotici B.M.W.P.' e I.B.E.

L'indice biotico B.M.W.P.' è il risultato di un adattamento dell'indice B.M.W.P. (utilizzato soprattutto in Gran Bretagna) alla realtà ecologica della penisola iberica (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1988). Il calcolo è realizzato in base a punteggi associati alle famiglie di macroinvertebrati raccolti nei campionamenti, a seconda della loro tolleranza all'inquinamento (Armitage *et al.,* 1983). Famiglie di organismi sensibili all'inquinamento hanno un elevato valore di "score", mentre famiglie di organismi tolleranti all'inquinamento hanno un basso valore di "score". La somma dei valori ottenuti fornisce il valore dell'indice biotico B.M.W.P' ed il corrispondente giudizio di qualità ambientale (Classi di Qualità).

L'indice biotico esteso I.B.E. (IRSA, 1995) rappresenta l'ultima versione dell'E.B.I. (Extended Biotic Index, Woodiwiss, 1978) adattata alla realtà ecologica italiana. Il suo calcolo è basato sull'analisi del numero di taxa nelle comunità macro-zoobentonica e sulla loro sensibilità alle perturbazioni ambientali.

Entrambi gli indici permettono la definizione delle qualità dell'ecosistema lotico in 5 specifiche Classi di Qualità: I Classe = ambiente non inquinato, II Classe = ambiente poco inquinato, III Classe = ambiente inquinato, IV Classe = ambiente molto inquinato, V Classe = ambiente fortemente inquinato. Queste 5 Classi sono utili per il mappaggio della qualità lungo l'intera asta fluviale, in quanto ad ogni classe corrisponde un tratteggio o un colore standard di riferimento.

Nel nostro studio, l'affinità fra le stazioni sperimentali è stata evidenziata in base ai dati di presenza/assenza dei taxa rinvenuti nei campioni, utilizzando l'indice di similarità di Jaccard. Per l'algoritmo di classificazione è stato scelta l'agglomerazione con UPGMA (Sneath & Sokal, 1973).

4. RISULTATI

Nella tabella 1 sono riportati le liste degli organismi rinvenuti nelle dieci stazioni lungo l'asta fluviale, con i valori degli indici I.B.E. e B.M.W.P.' e delle corrispondenti classi di qualità.

4.1. Taxa

Nei campionamenti effettuati negli anni 1995 e 1996 sono stati raccolti rispettivamente 47 e 66 taxa. E' da notare la presenza di Chironomidi, Simulidi ed Efemerotteri del genere *Baetis* in tutte le dieci stazioni di campionamento in entrambi gli anni. Nelle stazioni 1, 3 e 4 è stata riscontrata la specie ormai rara e protetta *Austropotamobius pallipes italicus.* La sua intolleranza ad ambienti inquinati la rende esclusiva di zone con acque correnti e fortemente ossigenate (Froglia, 1978). La sua assenza nella staz. 2 è senz'altro motivata da un peggioramento dello stato di salute del corso d'acqua, dovuto allo scarico del depuratore di Vejano. Un altro ritrovamento da segnalare è quello del granchio di fiume (*Potamon fluviatile fluviatile*) che predilige le acque moderatamente correnti (Froglia, 1978), riscontrabili nella staz. 9.

Tab. 1 - Elenco dei taxa di macroinvertebrati rinvenuti nel Fiume Mignone negli anni 1995 e 1996.

STAZIONE	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Anno Campionamento	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96
TAXON																				
BIVALVI																				
Pisidium			+			+														
Sphaerium										+										
COLEOTTERI																				
Dryopidae						+		+		+										
Dytiscidae										+					+					+
Elminthidae	+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	
Gyrinidae	+					+		+				+		+						
Hydracnidae		+				+														
CROSTACEI																				
Gammaridae	+						+												+	+
Astacidae	+				+		+													
Palemonidae		+							+						+					
Potamidae																	+			
Asellidae			+	+	+						+	+								
DITTERI																				
Anthomyidae										+										
Athericidae	+	+								+				+		+		+		
Ceratopogonidae	+								+		+		+	+		+		+		
Chironomidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Culicidae		+				+				+						+				
Dixidae		+																+		
Dolichopodidae						+														
Limoniidae								+		+					+	+		+		
Psychodidae						+		+		+		+				+				
Simuliidae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tabanidae										+			+					+		
Tipulidae								+						+						
EFEMEROTTERI																				
Baetis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Caenis		+			+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+		
Centroptilum	+						+	+		+			+		+	+		+		
Choroterpes																		+		
Ecdyonurus	+	+				+	+	+	+		+	+	+				+	+		+
Ephemera															+					
Ephemerella	+	+			+	+	+	+	+		+	+	+		+		+	+		+
Habrophlebia		+				+			+	+	+		+		+			+		+
Heptagenia										+						+				
Oligoneuriella																		+		
Paraleptophlebia																				+
Procloeon		+												+						+
Siphlonurus																+				
ETEROTTERI																				
Gerris															+					
Hydrometra															+					
Micronecta							+													

GASTEROPODI																				
Ancylus						+	+	+	+	+								+		
Lymnaea													+							
Physa											+				+			+		
Planorbis																		+		+
Valvata				+												+				+
IRUDINEI																				
Dina			+	+			+	+		+										
MEGALOTTERI																				
Sialidae										+										
ODONATI																				
Calopteryx		+										+								
Cordulegaster		+																		
Gomphus	+	+																+		
Ischnura												+								
Onychogomphus							+		+	+	+	+	+	+	+					
Platycnemis						+									+	+				
OLIGOCHETI										+				+						
Lumbriculidae		+																+		+
Naididae											+		+							
Tubificidae	+				+		+		+		+		+		+			+		
PLECOTTERI																				
Amphinemura	+																			
Capnia								+												
Isoperla	+				+			+		+	+	+						+		
Leuctra	+	+		+		+	+	+				+	+	+	+			+		+
Perla								+		+										+
Protonemura					+															
TRICLADI																				
Dugesia														+	+	+				
TRICOTTERI																				
Ecnomidae						+														
Glossosomatidae										+										
Hydropsychidae	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hydroptilidae												+						+		
Leptoceridae											+						+			
Limnephilidae		+			+	+	+	+			+		+							
Odontoceridae	+			+			+		+											
Philopotomidae	+	+							+		+	+	+	+	+	+	+	+		
Phryganeidae																		+		
Polycentropodidae						+	+	+		+	+		+		+	+	+			+
Psycomidae										+								+		
Rhyacophilidae	+	+			+		+	+	+	+	+	+	+		+	+		+		
Sericostomatidae						+		+					+							
TOTALE TAXA	21	23	6	9	12	23	21	23	17	28	21	18	22	15	23	20	12	30	6	17
B.M.W.P.'	141	142	20	45	65	125	122	143	104	156	121	111	135	78	127	109	75	178	27	100
I.B.E.	11	10	5	6	9	10	10	11	9	12	10	9	10	7	10	9	8	12	6	9

4.2. Similarità fra le stazioni di campionamento

L'analisi a clusters (UPGMA) ha messo in risalto le somiglianze fra le stazioni di campionamento in base ai dati di presenza/assenza dei taxa rinvenuti nei campionamenti degli anni 1995 e 1996 (Fig. 2). Come evidenzia il dendrogramma, le stazioni 6 e 7, poco soggette all'influenza dell'antropizzazione, presentano la maggiore similitudine nella composizione qualitativa delle comunità macrobentoniche mentre le stazioni 2 e 10 si differenziano nettamente da tutte le altre (valori di similarità di Jaccard rispettivamente di 0.15 e 0.30). Queste ultime sono maggiormente soggette a disturbo ambientale (costi tuito rispettivamente dallo scarico del depuratore di Vejano e dalle opere di canalizzazione).

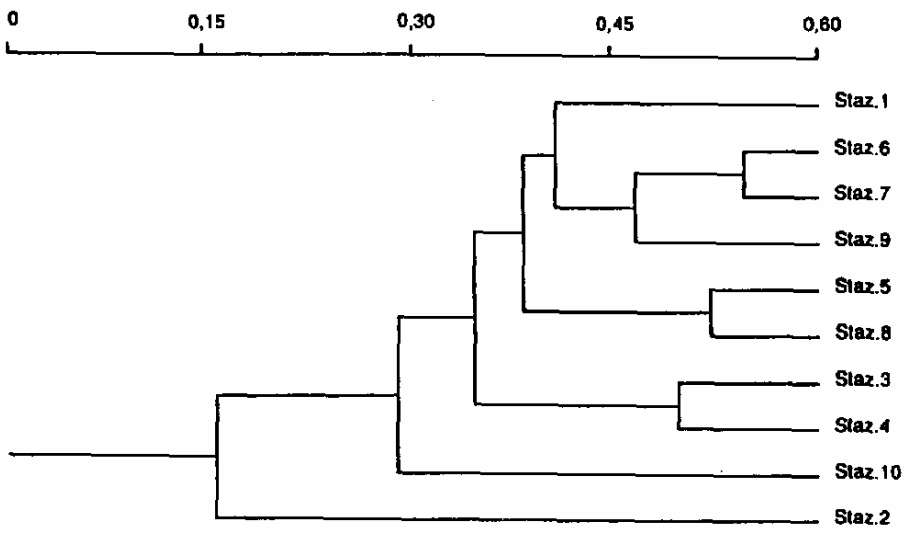


Fig. 2 - Similarità fra le stazioni secondo il coefficiente di Jaccard.

4.3. Indici biotici I.B.E. e B.M.W.P.'

Il calcolo dei valori degli indici biotici ha evidenziato che il fiume Mignone presenta una buona qualità delle acque lungo tutto il suo percorso, tranne in due tratti: quello relativo alla staz. 2, situato a valle del depuratore del centro abitato di Vejano, e quello prospicente alla foce nel Mar Tirreno, interessato da una serie di modificazioni artificiali dell'alveo. Gli andamenti dei valori (fig. 3) evidenziano la generale somiglianzà tra il B.M.W.P.' e 1' I.B.E. per quel che riguarda la caratterizzazione delle stazioni. In effetti, entrambi gli indici evidenziano il peggioramento della qualità ambientale nelle stesse stazioni e in maniera analoga negli anni 1995 e 1996. E' però da sottolineare che, nella scala dei punteggi, il B.M.W.P.' evidenzia un maggiore distacco delle stazioni più degradate (la staz. 2 e la staz. 10) da tutte le altre.

L'uso degli indici può essere più facilmente interpretabile visualizzando la Fig.3 che illustra le classi di qualità corrispondenti (C.Q.). Si può effettivamente evidenziare che:

- nel primo tratto (stazione 1) si riscontra sempre la I Classe di Qualità;
- nella staz. 2 si ha un notevole peggioramento della qualità, molto più accentuato nel primo anno (IV C.Q. nel 1995 e III C.Q. nel 1996);
- nelle stazioni successive (staz. 3 - 9) si verifica un generale miglioramento della qualità, ad eccezione della staz. 7 che nell'anno 1996 risulta di III Classe secondo

l'indice I.B.E. e di II Classe secondo l'indice B.M.W.P.' E' da notare che da un anno all'altro le stazioni 3 e 9 presentano la I Classe di Qualità;

- nel tratto relativo alla staz. 10 si osserva una bassa qualità, soprattutto nel 1995, evidenziato sia dall' I.B.E. (IIIC.Q.) che dal B.M.W.P.' (IV C.Q.).

5. DISCUSSIONE

I risultati della nostra indagine mostrano che il F. Mignone preserva in gran parte del suo corso uno stato generale di buona qualità.

Nel tratto a monte, i campionamenti effettuati in entrambi gli anni confermano che la zona sorgentizia del Fiume Mignone è rappresentativa di un ambiente non inquinato.

Nel tratto successivo (staz. 2), l'effetto negativo più vistoso è dovuto agli scarichi urbani di Vejano che degradano fortemente la qualità del Fiume Mignone (III-IV Classe di Qualità). Si deve comunque osservare che in questa stessa stazione, nell'anno 96, si è registrato un miglioramento di qualità che può essere messo in relazione alla maggiore efficienza del depuratore comunale; infatti, a luglio 1995, è stata introdotta una III vasca di sedimentazione dell'impianto, entrata a pieno regime a dicembre 1995.

A valle della staz. 2 la capacità autodepurativa del fiume consente di ripristinare le condizioni di buona qualità con un passaggio graduale nella staz. 3 (Torre dell'Ischia) ad una II Classe di Qualità nel 1995 e raggiungendo una I Classe di Qualità nel 1996.

Nelle stazioni 4, 5 e 6 non subentrano rilevanti fattori di degrado ed il fiume riacquista un maggior grado di naturalità, anche se nella staz. 5 (Monterano nel 1995) e nella staz. 6 (Rota nel 1996) l'indice I.B.E. fornisce un giudizio più severo del B.M.W.P.'. Ciò può essere attribuito, a Monterano, all'affluente Fosso Bicione che apporta materia organica proveniente dagli scarichi del centro abitato di Canale Monterano, determinando la diminuizione del numero totale di taxa e la scomparsa di taxa sensibili all'inquinamento (Plecotteri); a Rota e a Passo Viterbo (staz. 6 e 7) altri fattori, come l'eccessivo carico di bestiame e il taglio del bosco, possono aver ostacolato il raggiungimento di una qualità ottimale.

Nelle stazioni 8 e 9 i giudizi di qualità oscillano tra una I ed una II Classe di Qualità nei due anni. Si tratta di aree non soggette a disturbi ambientali di notevole entità.

Nel tratto terminale del fiume (staz. 10) si osserva un netto peggioramento dello stato di qualità; in quest'area vengono infatti praticate colture cerealicole e, in misura minore, orticole, viticole e foraggere che possono rappresentare delle fonti inquinanti. Vi sono poi opere di regimazione (sbarramento artificiale) e canalizzazione che modificano profondamente l'habitat, determinando la sopravvivenza di poche specie tolleranti a queste fonti di disturbo. Tale peggioramento di qualità ambientale è più drastico nel 1995; si osserva infatti, in tale anno, un passaggio dalla II Classe di Qualità (staz. 9) ad una III e IV Classe di Qualità (ottenute rispettivamente dall'I.B.E. e dal B.M.W.P.'nella staz. 10). Nel 1996 si verifica, invece, un passaggio da una I Classe di Qualità (staz. 9) ad una II Classe di Qualità (staz. 10).

Il nostro lavoro, condotto in uno degli ambienti fluviali a più alto valore naturalistico dell'Italia Centrale, ha voluto fornire un contributo per la valorizzazione e la salvaguardia del Fiume Mignone. Infatti ha rilevato sia le caratteristiche di naturalità di

gran parte del bacino sia la presenza di fattori di disturbo, che dovrebbero essere controllate al fine di minimizzarne, per quanto possibile, il loro impatto negativo sull'ambiente.

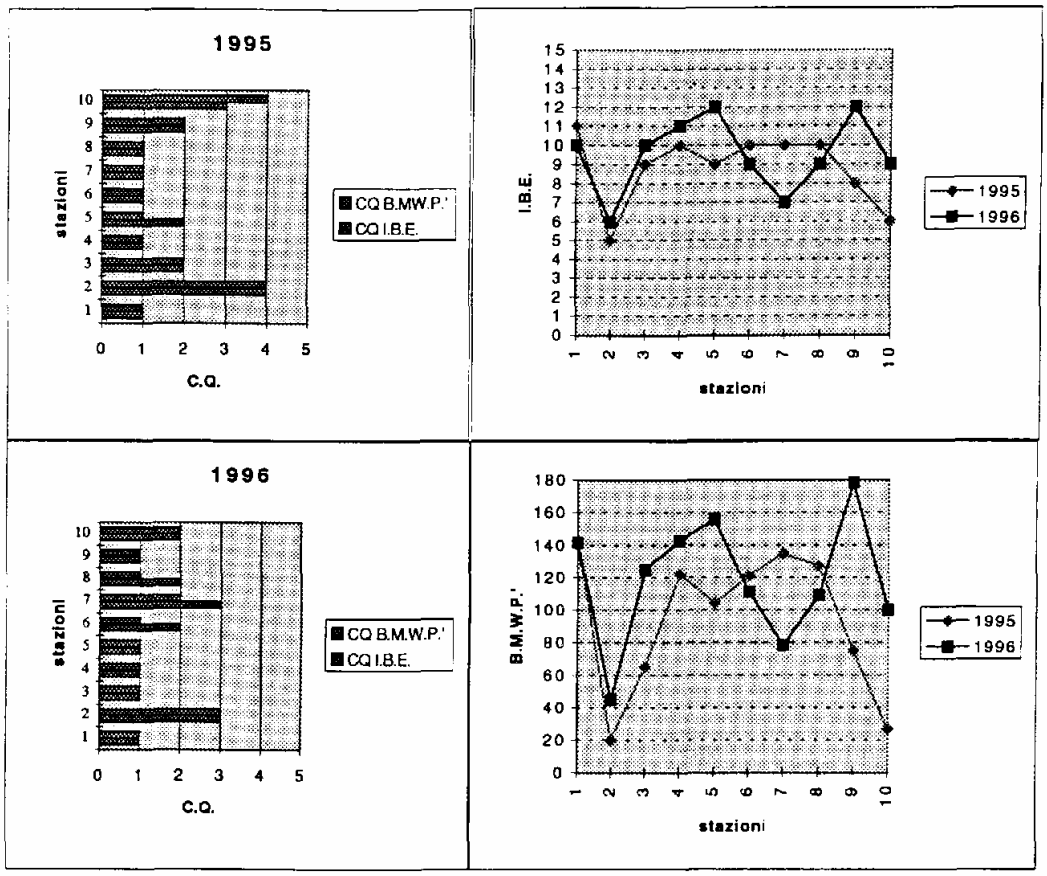


Fig. 3 - Valori dell'I.B.E. e del B.M.W.P.', Classi di Qualità nelle 10 stazioni del F. Mignone

BIBLIOGRAFIA

Alba-Tercedor J., Gonzalez G. & Puig M.A. 1992. Present level of knowledge regarding fluvial macroinvertebrate communities in Spain. *Limnética,* 8: 231-241.

Alba-Tercedor J. & Sánchez-Ortega A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biològica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnètica,* 4: 51-56.

Amadio V., Bono P., Capelli G., Cattena C., Ciccacci S., Conti M.A., Corda L., Fredi P., Raffi R. 1985. Studio geologico, geomorfologico e idrologico del bacino idrografico del fiume Mignone. (Lazio settentrionale). Prov. Roma - As. Ambiente.

Armitage P.D., Moss D., Wright J.F. & Furse M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score System based on macroinvertebrate over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res.,* 17: 33-347.

Belfiore C. 1983. Efemerotteri. *Guida C.N.R.* AQ/1/201.

Carchini G. 1983. Odonati. *Guida C.N.R.* AQ/1/198.
Cardimi G., Bambacigno F., Razzanti M., Belfiore C., Pochetti R., Nicolai P., Rota E. 1988. Composizione e struttura del macrobenthos del Fiume Mignone (Italia Centrale). *Boll. Mus. St. Nat. Lunigiana,* 6-7: 407-414.
Castagnolo L., Franchini D. & Giusti F. 1980. Bivalvi. *Guida C.N.R,* AQ/1/49.
Cataudella S. 1977. Prime considerazioni sulla ittiofauna del Fiume Mignone. *Quad. Acc. Naz. Lincei,* 227: 81-88.
Consiglio C. 1980. Plecotteri. *Guida C.N.R.* AQ/1/77.
De Pauw N. & Vanhooren G. 1983. Method for biological quality assesment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia,* 100: 153-168.
Fano E.A., Castelnuovo L., Colangelo M., Marchetti E., Morgana J.G., Puppi G., Zamorani M., 1988a. Decomposition process of *Quercus ilex* leaves in Mignone River (Italy). *Boll. Mus. St. Nat. Lunigiana,* 6-7: 127-131.
Fano E.A., Castelnuovo L., Marchetti E., Morgana J.G., Zamorani M., 1988b. An approach to the «River Continuum» theory. *Boll. Mus. St. Nat. Lunigiana,* 6-7: 325-328.
Froglia C. 1978. Decapodi. *Guida C.N.R.* AQ/1/9.
Ghetti P.F. 1995. Manuale di applicazione Indice Biotico Esteso -1 macroinvertebrati nel controllo di qualità degli ambienti di acque correnti - Provincia Autonoma di Trento. Servizio Protezione Ambiente.
Girod A., Bianchi I. & Mariani M. 1980. Gasteropodi, 1. *Guida C.N.R.* AQ/1/44.
Istituto di ricerca sulle Acque (I.R.S.A.). 1995. Notiziario dei metodi analitici: Indice Biotico Esteso (I.B.E.) metodi di analisi per ambienti di acque correnti. Suppl. Quad. n. 100: 1-24.
Matthews R.A., Buikema A.L.Jr., Cairns J.Jr. & Rodgers J.H. 1982. Biological monitoring. Part HA - Receiving System Functional Methods, Relationships and Indices. *Water Res.,* 16: 129-139.
Minelli A. 1977. Irudinei. *Guida C.N.R.* AQ/1/2.
Moretti G. 1983. Tricotteri. *Guida C.N.R.* AQ/1/196.
Olmi M. 1978. Driopidi, Elmintidi. *Guida C.N.R.* AQ/1/6.
Pirisinu Q. 1981. Palpicorni. *Guida C.N.R.* AQ/1/128.
Rivosecchi L. 1984. Ditteri. *Guida C.N.R.* AQ/1/206.
Sneath P.H.A. & Sokal R.R. 1973. Numerical Taxonomy. Freeman & Co., S. Francisco, 573 pp.
Tachet H., Bournaud M. & Richoux P. 1987. Introduction a l'Etude des macroinvertébrés des Eaux Douces. Association Francaise de Limnologie, 155 pp.
Tamanini L. 1979. Eterotteri Acquatici. *Guida C.N.R.* AQ/1/45.
Verneaux J., Galmiche P., Janier F. & Monnot A. 1982. Una nouvelle méthode pratique d'evaluation de la qualité des caux courantes. Un indice biologique de qualità generale (I.B.G.). *Annales Scientifique de l'Université de Besaçon,* 4 (3): 11-19.
Woodiwiss F.S. 1978. Comparability study of biological-ecological assessment - 2nd Technical Seminar on the River Trent and tributaries, 1976. Commission of the European Communities, Bruxelles, ENV/787/80.
Zullini A. 1982. Nematodi. *Guida C.N.R.* AQ/1/190.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 447 - 454.

ASSOCIAZIONI A FORAMINIFERI BENTONICI VIVENTI IN DUE STAZIONI DEL NORD ADRIATICO

Caterina MORIGI[1], Anna Maria BORSETTI[1], Franco CATI[2]

[1]Istituto per la Geologia Marina - CNR, Bologna
[2]Dipartimento di Scienze della Terra e Geologiche-Ambientali, Università di Bologna

ABSTRACT

A study on Rose Bengal stained benthic foraminifera in the sediments of two stations in front of the Delta of the Po river (S1) and the Delta of Adige river (S2) was carried out. We examined the total foraminifera density and the vertical distribution in the sediments of different taxa, in relation with seasonal fluctations.

Very low density and the presence of opportunistic species, in station SI, indicate that benthic foraminfera assemblages recorded the big flood of November 1994. Density changes is very different in the two stations, but both reflects in January the better condition due to the oxygenation of the bottom.

Some species are vertically stratified within the sediment, and it is possible to determine the prefered microhabitat; others instead, occur throughout the sediments but they move towards the sediment surface during the periods of oxygen depletion.

1. INTRODUZIONE

Lavori recenti hanno dimostrato che l'utilizzo dei foraminiferi bentonici non è limitato soltanto a studi geologici, es. biostratigrafia, ma che questi organismi possono fornire utili informazioni anche ad altre discipline. Ad esempio, sono numerose le indagini che pongono in relazione inquinamento e distribuzione dei foraminiferi bentonici (Banerji, 1992; Alve, 1995). I primi studi sull'ecologia dei foraminiferi bentonici risalgono agli anni '50 (Walton, 1952), quando venne introdotto l'utilizzo del Rosa Bengala, che permette di distinguere gli organismi "vivi" da quelli morti, senza dover ricorrere a costose e complicate tecniche. Eppure, nonostante questa metodologia sia di facile approccio, l'ecologia dei foraminiferi bentonici è ancora poco conosciuta. Tuttavia questa conoscenza è fondamentale per una corretta interpretazione delle associazioni fossili e per fornire ricostruzioni paleoambientali e paleoceanografiche. È inoltre utile conoscere la distribuzione all'interno del sedimento dei singoli taxa e come questi reagiscono ai cambiamenti dell'ambiente in cui vivono come, ad esempio, una drastica diminuzione dell'ossigeno nel sedimento. Risulta quindi evidente come possa essere di

notevole interesse lo studio delle associazioni a foraminiferi bentonici viventi in relazione ai cambiamenti climatici e idrografici stagionali.

2. AREA DI STUDIO

L'area investigata in questo studio è situata in Adriatico settentrionale, e più precisamente è la zona prospiciente il Delta del Po (Fig. 1). A causa della circolazione antioraria che caratterizza il nord Adriatico, le due stazioni scelte per i campionamenti (S1 e S2) sono rappresentative di situazioni idrografiche particolari.

In dettaglio, la S1 è situata in corrispondenza di una delle più importanti bocche del Po ed è quindi rappresentativa della zona che subisce l'influenza degli apporti di questo importante fiume. La S2 invece, ubicata a nord del Delta, di fronte alle foci dell'Adige e del Brenta, rappresenta la stazione tipo per la zona costiera influenzata dagli apporti di questi due fiumi minori.

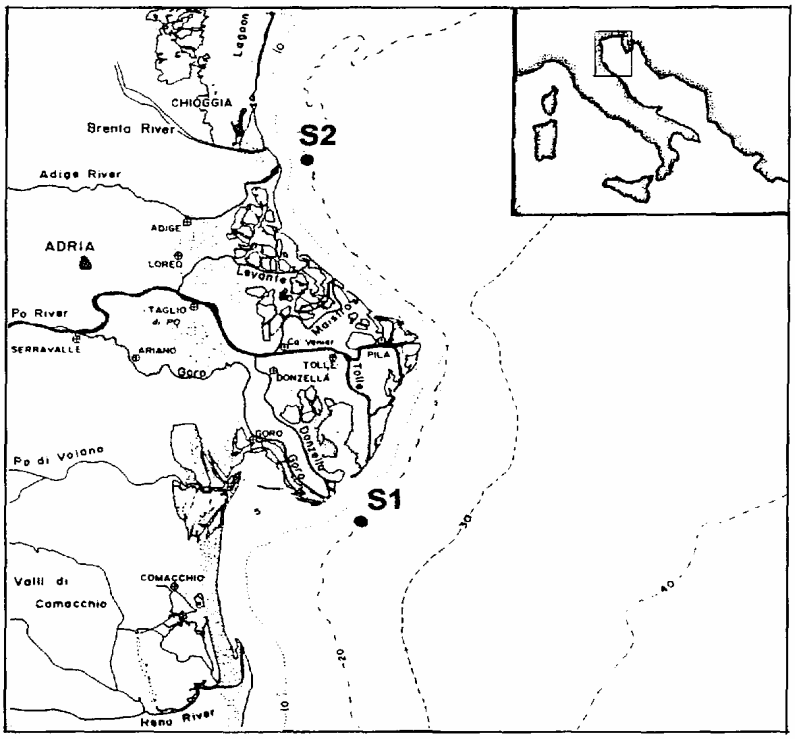


Fig. 1 - Localizzazione delle due stazioni investigate in questo studio.

L'idrologia dell'area studiata è mediamente caratterizzata da una colonna d'acqua stratificata e da concenti-azioni di ossigeno nel sedimento minime o mille in estate; da una colonna d'acqua omogenea ed un lieve aumento di ossigeno sul fondo in inverno (Franco & Michelato, 1992; Matteucci & Frascari, 1997).

I box-corer prelevati nella stazione SI sono costituiti principalmente di argilla siltosa, così come quelli prelevati nella stazione S2 sono principalmente costituiti da silt e/o silt argilloso.

3. MATERIALI E METODI

II materiale raccolto proviene da quattro campagne oceanografiche, condotte ad intervalli stagionali, durante le quali è stato effettuato il campionamento del sedimento, tramite box-corer, nelle due stazioni S1 e S2. Le date delle campagne e l'ubicazione esatta delle stazioni sono riportate nella tabella 1 e in figura 1.

Tab. 1. Date del campionamento e ubicazione delle stazioni.

Crociera / Stazioni	C1	C2	C3	C4
S1	5 aprile '95	4 luglio '95	12 ottobre '95	11 gennaio '96
S2	10 aprile '95	11 luglio '95	5 ottobre '95	18 gennaio '96

Stazioni	Latitudine	Longitudine	Profondità (m)	Litologia
S1	45° 09' 15" N	12° 24' 03" E	23	Argilla siltosa
S2	44° 45' 33" N	12° 28' 04" E	20	Silt - Silt argilloso

Ognuno degli 8 box-corer è stato subcampionato, appena arrivato a bordo, ad intervalli di 0,5 cm per i primi 4 cm e di 1 cm per quelli successivi, fino al centimetro 8, prelevando un volume costante di sedimento (20 cc). 1 campioni così ottenuti sono stati trattati immediatamente con Rosa Bengala (sostanza ad affinità proteica che permette la colorazione delle parti molli) e lasciati in soluzione per il tempo minimo di una settimana. Ogni campione è stato successivamente sottoposto a lavaggio, utilizzando un filtro a 63 micron, ed il residuo è stato conservato in soluzione di alcool etilico. Utilizzando uno stereo microscopio sono stati contati, ad umido, tutti i foraminiferi bentonici colorati, presenti nel residuo. Nel caso di materiale abbondante, il campione è stato quartato utilizzando un quartatore ad umido. Successivamente sono stati contati un numero di quarti sufficienti per ottenere almeno 300 individui per campione. Il criterio per distinguere gli organismi "vivi" da quelli morti è stata la presenza di una forte colorazione (rosso - fucsia) all'interno del guscio. Gli organismi che presentavano un colore rosa o non uniforme non sono stati considerati nel conteggio, così come eventuali frammenti colorati di foraminiferi.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1. Densità totale dei foraminiferi

La densità totale dei foraminiferi viventi presenti nel sedimento delle due stazioni, durante le 4 campagne, è espressa come numero di individui in 20 cc di sedimento, i relativi valori variano da un minimo di 935 (stazione S1, crociera di aprile C1) ad un massimo di 10165 (stazione S2, crociera di gennaio C4). Come riportato in figura 2, nell'arco del periodo studiato la produttività aumenta, raggiungendo il massimo valore nel mese di gennaio, mentre i valori minimi si ritrovano durante aprile in entrambe le stazioni.

Si può osservare inoltre, che la stazione S2 è molto più produttiva della stazione S1, oltre a presentare una maggiore variabilità. La popolazione caratterizzante la stazione S1 sembra possedere, da luglio a gennaio, un maggiore "equilibrio", poiché non si verificano fluttuazioni di grossa importanza nel valore della densità. Questo andamento non è riscontrabile nei campioni della crociera di aprile CI, dove è stata determinata una quantità estremamente scarsa di foraminiferi bentonici. Tale situazione risulta anomala, in quanto solitamente in aprile si risente ancora del buon tenore di ossigenazione del fondo che si determina nei mesi invernali e favorisce lo sviluppo degli organismi. Anche Barmawidjaja *et al.,* (1992) riportano, per i mesi di febbraio e maggio, alti valori della densità (espressa per grammo di sedimento secco), superiori a quelli registrati nel mese

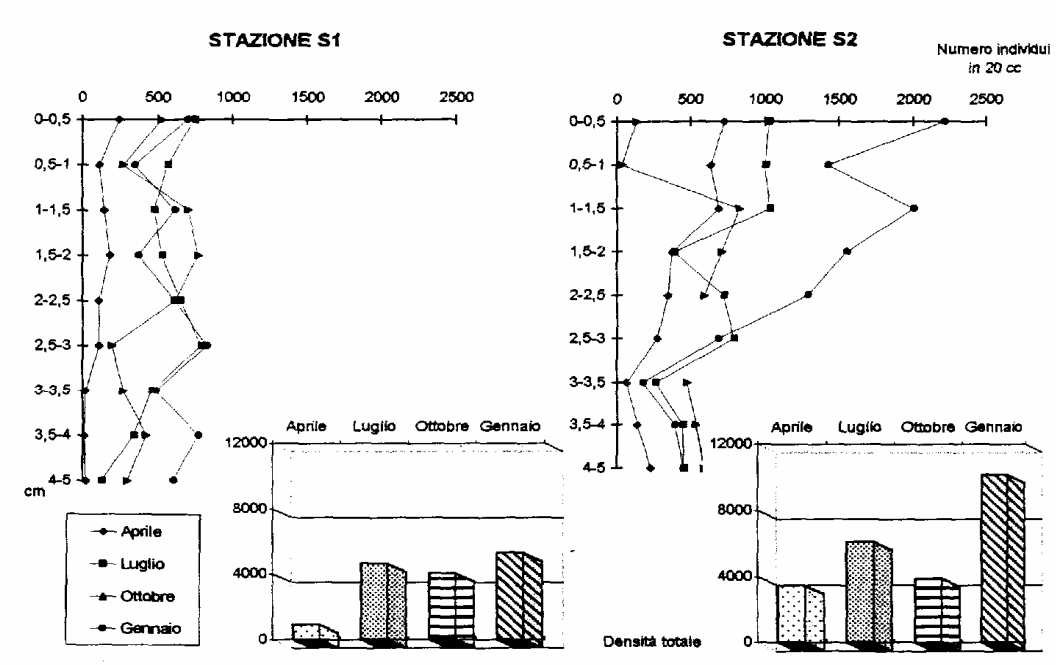


Fig. 2 - Densità totale dei foraminiferi bentonici nelle due stazioni durante le quattro campagne e relativa distribuzione verticale nel sedimento.

estivo (giugno). Quindi un valore così basso nella densità di foraminiferi deve trovare una spiegazione al di fuori della disponibilità di ossigeno nel sedimento. Noi ipotizziamo che la microfàuna bentonica riscontrata in questa stazione risenta ancora delle variazioni apportate dalla piena del Po, verificatasi nel novembre 1994. Questo evento, infatti, causando una notevole torbidità nella colonna d'acqua e un incremento nel tasso di sedimentazione, ha determinato la decimazione dell'associazione a foraminiferi bentonici. Probabilmente in aprile 1995 la microfauna è ancora in via di ripresa e pertanto è costituita da pochi organismi.

4.2. Composizione e distribuzione verticale della fauna nel sedimento

Le specie riscontrate nei campioni sono in totale 62, di cui 16 sono specie con guscio agglutinante. La stazione S1 presenta una variabilità inferiore: 49 specie contro le 59 riconosciute in nella stazione S2. Per quel che concerne il numero delle specie, si può notare che esiste in entrambe le stazioni un trend negativo dal mese di aprile a gennaio (Tab. 2).

Tab. 2 - Numero totale di foraminiferi bentonici in 20 cc di sedimento a guscio calcareo ed agglutinante e numero delle specie determinate nelle quattro campagne.

	S1				S2			
Campagne	aprile	ottobre	luglio	gennaio	aprile	ottobre	luglio	gennaio
Totale calcarei	570	3276	2376	3420	1521	3084	1794	3515
Totale agglutinanti	365	1434	1671	1884	1945	3084	2115	6824
Numero specie	38	37	36	29	52	37	40	34

Una maggiore diversificazione della fauna si ritrova alla fine dell'inverno (aprile) quando le condizioni del fondo sono ancora in grado di mantenere una fauna ben diversificata, mentre in gennaio, quando l'ossigenazione del fondo si è appena verificata, si ha un elevato numero di individui ma un numero inferiore di specie ed in particolare, le specie pioniere hanno momentaneamente il sopravvento sulle altre.

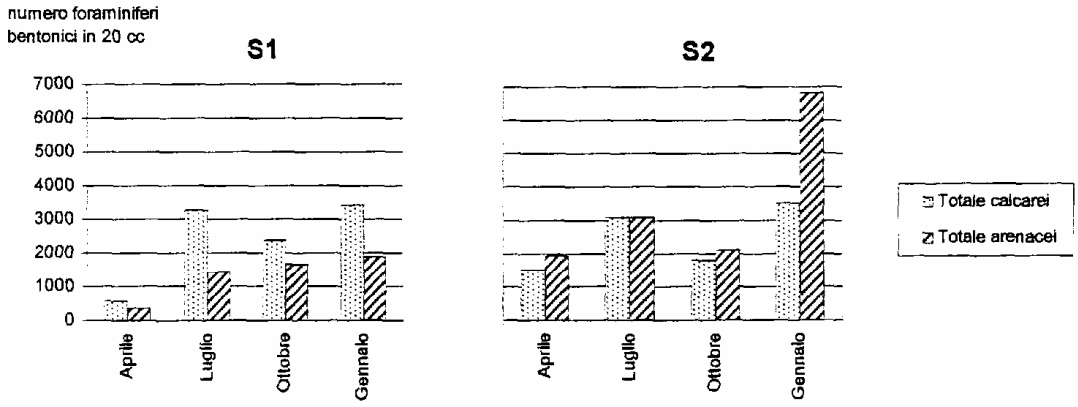
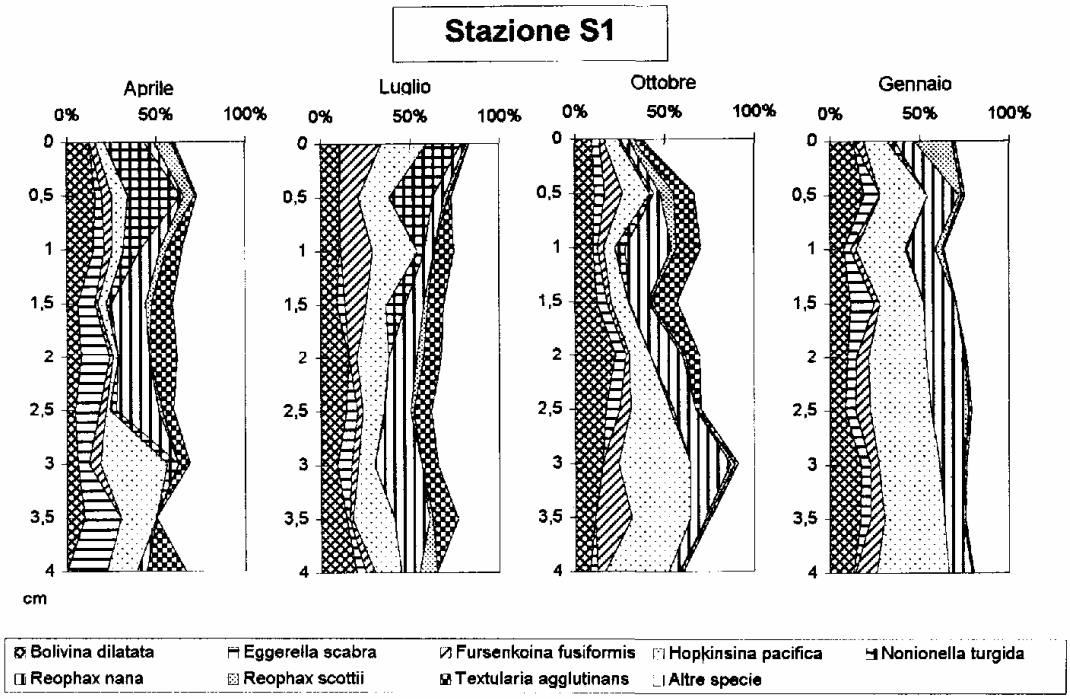


Fig. 3 - Gli istogrammi mostrano il numero totale di specie a guscio calcareo e agglutinante (numero di foraminiferi bentonici in 20 cc di sedimento) nelle due stazioni durante le quattro campagne.



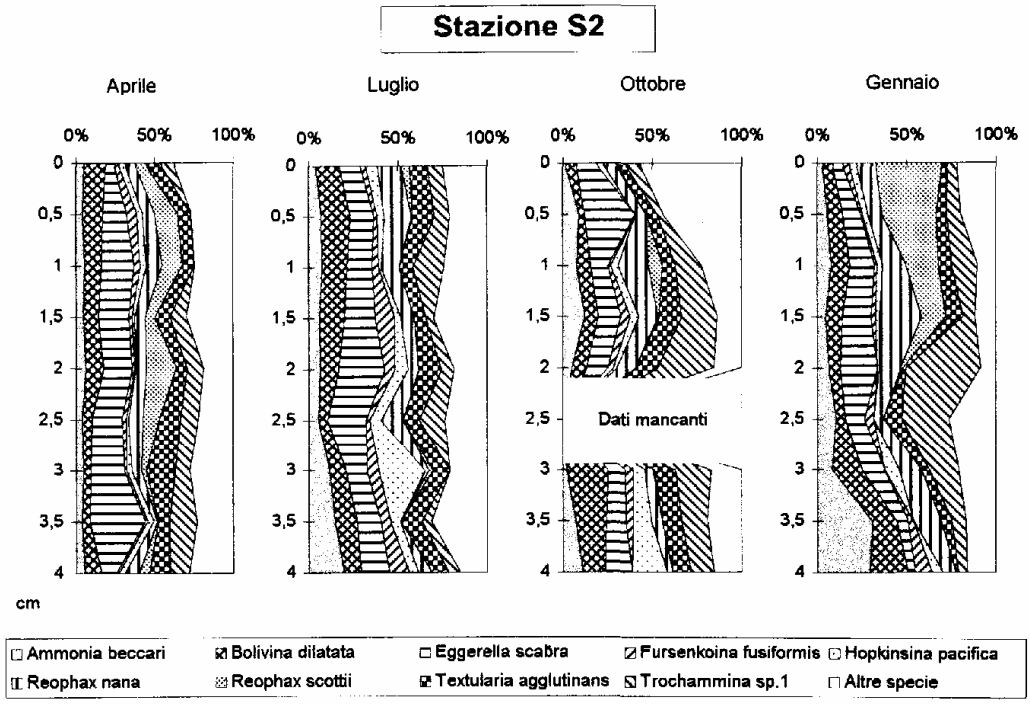


Fig. 4 - Diagrammi cumulativi delle due stazioni S1 e S2.

Considerando gli organismi con guscio calcareo e quelli con guscio agglutinante, si nota una variazione nelle due stazioni: in SI prevalgono gli organismi calcarei in quasi tutti i punti di campionamento mentre in S2 si verifica la situazione opposta (Fig. 3).

Bolivina dilatata e *Reophax nana* sono le due specie presenti in quantità elevate durante tutto l'anno e nell'intera profondità del sedimento esaminato, che compaiono in entrambe le stazioni. Analizzando i diagrammi di queste due specie si riscontra che in alcuni casi, ad esempio nel campionamento di ottobre della stazione S2, i due taxa occupano zone opposte: così troviamo *R. nana* più abbondante nei primi 2 cm e *B. dilatata* da 2,5 a 5 cm. In maniera meno evidente, questo fenomeno è pur sempre visibile nella C4S2 e C4S1. *Eggerella scabra* e *Textularia agglutinans,* anche se presenti in percentuali più basse, sono presenti in entrambe le stazioni; *Textularia agglutinans* mostra una caratteristica comune a SI e S2: la percentuale di questa specie subisce un calo brusco nel mese di gennaio.

Nonionella turgida e *Reophax scottii,* sono invece due specie caratterizzanti le singole stazioni. In SI ritroviamo *N. turgida* in percentuali elevate (12% sul totale della fauna), mentre *R. scotta* risulta essere presente in basse percentuali (massimo 4%), viceversa accade nella S2 dove *R. scotta* raggiunge percentuali del 18% e *N. turgida* raggiunge solo in aprile la percentuale dell'1% sul totale dell'associazione. Entrambe queste specie sono solitamente presenti nei primi 2 cm di sedimento; fanno eccezione i campioni C1S2 e C2S1, quest'ultima solamente per *R. scottii.*

Anche *Fursenkoina fusiformis* e *Hopkinsina pacifica* sono caratteristiche della stazione SI e compaiono in basse percentuali in S2, mentre *Ammonia beccari* e *Trochammina* sp. 1 si trovano in percentuali considerevoli solamente nella stazione S2.

5. CONCLUSIONI

L'analisi del conteggio dei foraminiferi viventi ha evidenziato alcuni punti che possono essere cosi sintetizzati:

1. la stazione S1, fra le due esaminate, è quella che sembra offrire una stabilità ambientale maggiore (escludendo il mese di aprile) per lo sviluppo della fauna bentonica. Il numero di specie e di individui, che si mantiene costante durante il corso dell'anno, e la composizione stessa della fauna, confermano questa ipotesi;

2. Al contrario la stazione S2 mostra una minore stabilità ambientale. L'evoluzione dell'associazione nel corso dell'anno sia in termini di composizione specifica della comunità che di densità totale di individui, fa ritenere che le condizioni abiotiche in questa stazione varino notevolmente nel corso dell'anno, influenzando fortemente la biocenosi a foraminiferi bentonici.

3. la distribuzione verticale nel sedimento di alcune specie è in accordo con la definizione di microhabitat, suggerita da Jorissen *et al.,* (1995). Questi Autori si rifanno ad un concetto dinamico: il microhabitat- dei foraminiferi bentonici dipende principalmente dalla necessità di trovare il cibo: essi si muovono all'interno del sedimento alla ricerca della situazione ottimale, ovvero di un giusto compromesso fra cibo e ossigeno. È possibile comunque indicare alcune specie come prevalentemente epifaunali *(Nonionella turgida* e *Reophax scottii)* mentre altre *(Bolivina dilatata* e *Reophax nana)* risultano essere preferibilmente infaunali, anche se in situazioni di

particolari stress risalgono verso la superficie occupando i primi centimetri del sedimento.

4. nella stazione SI è stato registrato l'evento di piena del Po del novembre '94. Il campione anomalo e l'effetto provocato sulla comunità a foraminiferi bentonici registra infatti, con ogni probabilità, l'effetto di questo evento catastrofico. Infatti, oltre alla bassissima densità totale riscontrata in questi campioni, bisogna sottolineare che nei primi 3 cm di sedimento sono stati conteggiati 891 individui contro i 935 presenti in tutto il campione. Questo significa che l'associazione di questo campione è nettamente dominata dall'eptiauna e infauna superficiale; se poi osserviamo le specie presenti, vediamo che dominano quelle che sono definite "specie opportuniste" *(Nonionella turgida, Reophax nana,* ecc.).

BIBLIOGRAFIA

Alve E. 1995. Benthic Foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *Journal of Foraminiferal Research,* 25, n° 3: 190-203.

Banerji R.K. 1992. Heavy metal and benthic foraminiferal distribution along Bombay Coast, India. Benthos '90. Sendai. *Studies in benthic foraminifera.* Tokai University Press: 151-157.

Barmawidjaja D.M., Jorissen F.J., Puskaric S. & Van der Zwaan G.J. 1992. Microhabitat selection by benthic foraminifera in the Northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research,* 22, n° 4: 297-317.

Franco P. & Michelato A. 1992. Northern Adriatic Sea: oceanography of the basin proper and the western coastal zone. In: Science of the Total Environment, (R. A. Vollenweider, Marchetti R. & Viviani R. eds.). *Supplement of Marine Coastal Eutrophication:* 35-62.

Jorissen F.J., de Stigter H.C., Widmark J.G.V. 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. Marine Micropaleontology, 26: 3-15.

Matteucci G. & Frascari F. 1997. Fluxes of suspended materials in the North Adriatic Sea (Po prodelta area). *Water, Air and Soil Pollution,* 99: 557-572.

Walton W.R. 1952. Techniques for recognition of living foraminifera *Contribution to Cushman Fondation for Foraminiferal Research,* 3: 617-632.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 455 - 456.

IL LAGO DI VAL NOCI IN LIGURIA. INDAGINE SULLO STATO TROFICO

Rosanna MURATORI [1], Paolo DE GROSSI[2]

[1]Istituto di Anatomia Comparata, Università di Genova V.le Benedetto XV, 5 - Genova
[2]A.R.P.A.L. Dipartimento di Genova, Servizio Territoriale, Via Gropallo,5 - Genova

II bacino artificiale di Val Noci, utilizzato per scopi idropotabili, si trova interamente in Provincia di Genova, nell'alta Valle Scrivia, a circa 23 km a Nord-Est della città di Genova.

La capacità dell'invaso è di 3.300.000 m^3, con una superficie del bacino idrografico di 7.4 km^2; la superficie del lago è pari a 0.16 km^2 (Bazzurro, 1989) e la sua profodità massima è di 47,5 m.

Da un punto di vista geologico il bacino idrografico, delimitato a Nord dal Monte Bano (1.035 m) e a Sud dal Monte Alpesisa (982 m) e dal Monte Lago (941 m), è in gran parte interessato dall'affioramento dei Calcari del Monte Antola. Presso Caiasca, Veixa e Sanguineto e fino al Monte Alpesisa affiorano le Arginiti di, Montoggio.

Da un punto di vista climatico, può essere collocato nella regione appenninica che è caratterizzata da temperature minime invernali intorno allo zero e precipitazioni abbondanti.

L'invaso in esame, vista la vicinanza al mare e l'assenza di ostacoli naturali, risulta essere sensibilmente influenzato dal clima mediterraneo della Riviera Ligure che provoca un innalzamento invernale delle temperature minime. I massimi valori delle precipitazioni non si rilevano sul lato Est del bacino, e quindi nella sua parte più elevata, ma in quello Sud-Est, tra il Monte Prelà ed il Monte Alpesisa, pertanto in stretta connessione con l'area occupata dal lago.

I campioni sono stati prelevati in una stazione situata al punto di massima profondità e al centro del lago. I campioni d'acqua sono stati prelevati, dalla superficie fino a 30 m, ogni 5 m e alle quote successive, fino al fondo, ogni 10 m con bottiglia a rovesciamento di 2 litri di capacità.

Si sono analizzati i seguenti parametri: ossigeno disciolto, temperatura, conducibilità, pH, azoto ammoniacale, azoto nitroso, azoto nitrico, orto fosfato, fosforo totale, T.O.C., torbidità, solidi sospesi totali, cloruri, solfati, silice solubile, ferro, manganese e clorofilla a.

Nel Lago di Val Noci il processo di stratificazione inizia nel mese di maggio: il termoclino si localizza verso la fine di luglio o inizio di agosto tra 5 e 10 m di profondità (Monge Ganuzas, 1992).

Nell'invaso in esame si osserva una percentuale di saturazione dell'ossigeno nei mesi di agosto e di settembre che non supera mai il 16%, con punte anche vicine allo 0% in prossimità del fondo, con l'instaurarsi in tale zona di processi ossidativi intensi.

Nel mese di ottobre si verifica la piena circolazione, con conseguente riossigenazione del fondo.

Le variazioni del pH sono legate alla stratificazione della colonna d'acqua; il pH assume valori vicini a 8.0 nei periodi di piena circolazione mentre nei periodi di stratificazione, in ambiente riducente, si ha una diminuzione dei valori.

La trasparenza delle acque del lago risulta essere sensibilmente ridotta a causa di un'alta concentrazione di solidi in sospensione per l'apporto di materiali provenienti dai rii che alimentano il Val Noci e, in periodo di piena circolazione, dalla risospensione del materiale depositato sul fondo. Generalmente bassi risultano essere i valori della clorofilla a con concentrazioni, nei mesi di novembre e di dicembre, inferiori al limite di sensibilità del metodo.

Nei mesi di giugno e di settembre si evidenzia una significativa diminuzione della concentrazione dei nitrati nell'ipolimnio dovuta alle condizioni presenti nelle acque del fondo; parallelamente si osserva un aumento dei nitriti e dello ione ammonio. In novembre e in dicembre la concentrazione dei nitrati aumenta nuovamente

Le peculiari caratteristiche geologiche dell'area, con predominanza di terreni calcarei e conseguenti apporti di $CaCO_3$, producendo una precipitazione del fosforo (Enell, 1982), riducono la presenza della componente algale. I valori di SiO_2, rilevati nell'invaso in esame, sono sensibilmente minori di quelli riscontrati mediamente nelle acque epicontinentali (12,24 ml/1) (Manchetti, 1987).

Le irregolarità idrologiche, tipiche dei laghi artificiali, influenzano, com'è ovvio, anche il chimismo e la biologia del lago Val Noci, caratterizzato da un tempo medio di permanenza della massa d'acqua di circa 60 giorni. Il Val Noci va a collocarsi, quindi, per quanto concerne la qualità delle acque tra gli invasi oligo-mesotrofici. In certi periodi dell'anno gli apporti idrici esterni permettono di mantenere alta la percentuale di saturazione dell'ossigeno in superficie, ma il rapido ricambio impedisce una riossigenazione delle acque più profonde.

BIBLIOGRAFIA

Bazzurro N. 1989. Il sistema acquedottistico genovese, pianificazione e gestione della risorsa idrica. Tesi di Laurea, Univ. di Genova, Fac. Ingegneria: 5-30.

Enell M. 1982. The phosphorus economy of a hypertrofic Seepage Lake in Scania, South Sweden, grounwater influence. *Hydrobiologia,* 86: 153-158

Marchetti R. 1987. L'eutrofizzazione. Un processo degenerativo delle acque. Franco Angeli Libri S.r.l., Milano.

Monge Ganuzas G. 1992. Estudio comparativo del grado de eutrofia de los Embalses del Brugneto y Val Noci (Genova, Italia) en base a la determinaciòn de aspectos limnològicos. Tesis de Grado.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L, 1998
Piccazzo M. (ed.): 457 - 472.

LINEAMENTI MORFOLOGICI E DEPOSIZIONALI DELLA PIATTAFORMA CONTINENTALE DELLA SICILIA MERIDIONALE

Claudia ROMAGNOLI[1], Francesco IMMORDINO[2], Omelia FERRETTI[3]
Bruno ANSELMI[4]

[1] Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna
[2] ENEA Ambiente - Bologna
[3] ENEA CRAM S. Teresa - La Spezia
[4] ENEA Gasacela - Roma

RIASSUNTO

Un ampio tratto della piattaforma continentale della Sicilia meridionale è stato oggetto di ricerche, condotte nel corso di due campagne oceanografiche. Nell'area sono state registrate alcune centinaia di chilometri di profili ecografici e sismici ad alta frequenza (S.B.P. 3.5 KHz, Sparker 1kJ) e sono stati raccolti 24 campioni di sedimenti mediante carotaggi e bennate.

L'analisi dei dati sismoacustici ha consentito la ricostruzione dell'assetto morfologico e deposizionale del tratto di piattaforma considerato, che appare ampio e regolare, con scarso gradiente topografico. Le unità progradanti della piattaforma sono tagliate da una superficie erosiva lardo-quaternaria, al di sopra della quale giace in discordanza la sequenza sedimentaria recente (tardo pleistocenica-olocenica) che, in quasi tutta l'area di piattaforma considerata, mostra spessori piuttosto elevati. Gli spessori più alti si riscontrano in corrispondenza della foce dei Fiumi Gela e Salso.

I caratteri composizionali e tessiturali dei sedimenti marini superficiali e subsuperficiali evidenziano una relativa uniformità granulometrica e mineralogica nella loro distribuzione in piattaforma che riflette l'uniformità litologica marnoso-argillosa ed arenacea degli affioramenti rocciosi lungo la fascia costiera e dei bacini fluviali che insistono nell'area.

ABSTRACT

During two oceanographic cruises carried out on a wide tract of the Continental shelf off Southern Sicily, several kms of high-resolution seismoacustic profiles (S.B.P. 3.5 KHz, Sparker 1kJ) have been recorded and 24 samples of sediment from the seabottom have been collected.

The analysis of the seismic profiles allowed to obtain the morphologic and depositional characterization of the shelf, which shows a wide and regular setting, with low topographic gradient. An erosional surface of Late Quaternary age cuts the prograding units of the shelf; overlying thick recent (late pleistocenic-holocenic), mostly undeformed deposits have been mapped on the shelf and the upper slope, showing the highest thickness in front of the Gela and Salso River mouths.

Textural and mineralogical characters of the surficial and sub-surficial sediments show a general granulometrie and compositional homogeneity all along the shelf, reflecting the lithologic uniformity (clayed-marly and arenaceous) outcropping in the coastal belt and the Continental fluvial basins.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito di una serie di ricerche condotte in questi anni sulla piattaforma continentale della Sicilia Meridionale, sono stati effettuati rilievi sui principali lineamenti morfologici e deposizionali del settore ed una caratterizzazione granulometrica e mineralogica dei sedimenti superficiali, già oggetto di indagini nell'ambito della redazione dell'Atlante delle Spiagge Italiane (CNR, 1985: F. 276 - RAGUSA; F. 275 - SCOGLITTI; F. 272 - GELA; F.271 - AGRIGENTO; F. 266 - SCIACCA; F. 265 - MAZARA DEL VALLO).

L'analisi di alcune centinaia di chilometri di profili ecografici e sismici ad alta frequenza raccolti negli anni 1993-94 con la nave URANIA del C.N.R. ha permesso di ottenere la ricostruzione dell'assetto morfologico-deposizionale e dell'evoluzione recente di un ampio settore della piattaforma compreso tra Sciacca e il Golfo di Gela.

Sono stati, inoltre, considerati i caratteri composizionali e tessiturali dei sedimenti marini superficiali e sub-superficiali lungo la piattaforma, secondo una maglia non regolare stabilita in funzione dei dati sismoacustici e delle principali caratteristiche litologiche dell'area continentale.

Le informazioni morfologiche, mineralogiche e sedimentologiche ottenute, unitamente alla ricostruzione della distribuzione e dello spessore dei sedimenti tardo-pleistocenici/olocenici, hanno fornito la base per l'interpretazione dei processi di dispersione e deposizione presenti nel settore di piattaforma continentale investigato.

2. CARATTERI GENERALI DELL'AREA

L'area in esame è ubicata in corrispondenza dell'estensione in mare di un ampio bacino di avanfossa di età Plio-Quaternaria (Bacino di Gela-Caltanissetta), connesso alle ultime fasi di accavallamento della catena Appenninico-Magrebide nell'intervallo Neogene-Pleistocene inferiore (Catalano & D'Argenio, 1982; Argnani *et al,* 1987). Tale settore è interessato da una marcata subsidenza nel Plio-Quaternario (CNR, 1987) ; il riempimento dell'avanfossa consiste di alcune migliaia di metri di sedimenti clastici plio-quaternari deformati e del fronte più esterno, SO-vergente, della catena Appenninico-Magrebide, rappresentato dalla Falda di Gela (Fig. 1).

La Falda di Gela è costituita da una successione di sedimenti prevalentemente mio-pliocenici, ripiegati e fagliati in un cuneo di accrezione almeno fino al Pleistocene inferiore (Argnani, 1987). Il fronte della falda, la cui messa in posto è avvenuta tra il Pliocene ed il Pleistocene inferiore, ha un andamento arcuato che segna il passaggio avampaese-avanfossa e che suggerisce un raccorciamento principalmente a direzione N-S. Esso si trova qualche decina di km a sud del settore centro-meridionale della costa siciliana, mentre riaffiora lungo la congiungente Gela-Catania nella sua parte orientale ed in corrispondenza di Sciacca verso ovest (Fig. 1; Argnani, 1987). La Falda di Gela è ricoperta, nell'area di studio, da oltre 200 m di successioni sedimentarie plio-pleistoceniche relativamente indisturbate.

L'area costiera compresa tra Sciacca e Gela è costituita in buona parte da una costa alta, con limitate piane costiere di origine alluvionale ed una morfologia prevalentemente collinare dell'area retrostante. Le sequenze sedimentarie affioranti lungo il tratto costiero centrale del margine siciliano meridionale fanno parte di unità fliscioidi argillose ed argilloso-calcaree di età paleogenica-miocenica, unità evaporitiche del Messiniano ed argillose del Pliocene inferiore (Trubi), sequenze clastiche, prevalentemente terrigene, del Plio-Pleistocene.

I principali corsi d'acqua che sfociano nel tratto di costa considerato sono i Fiumi Platani, Salso, Gela ed Acate (Fig. 1); tra questi, l'apporto più rilevante è fornito dal

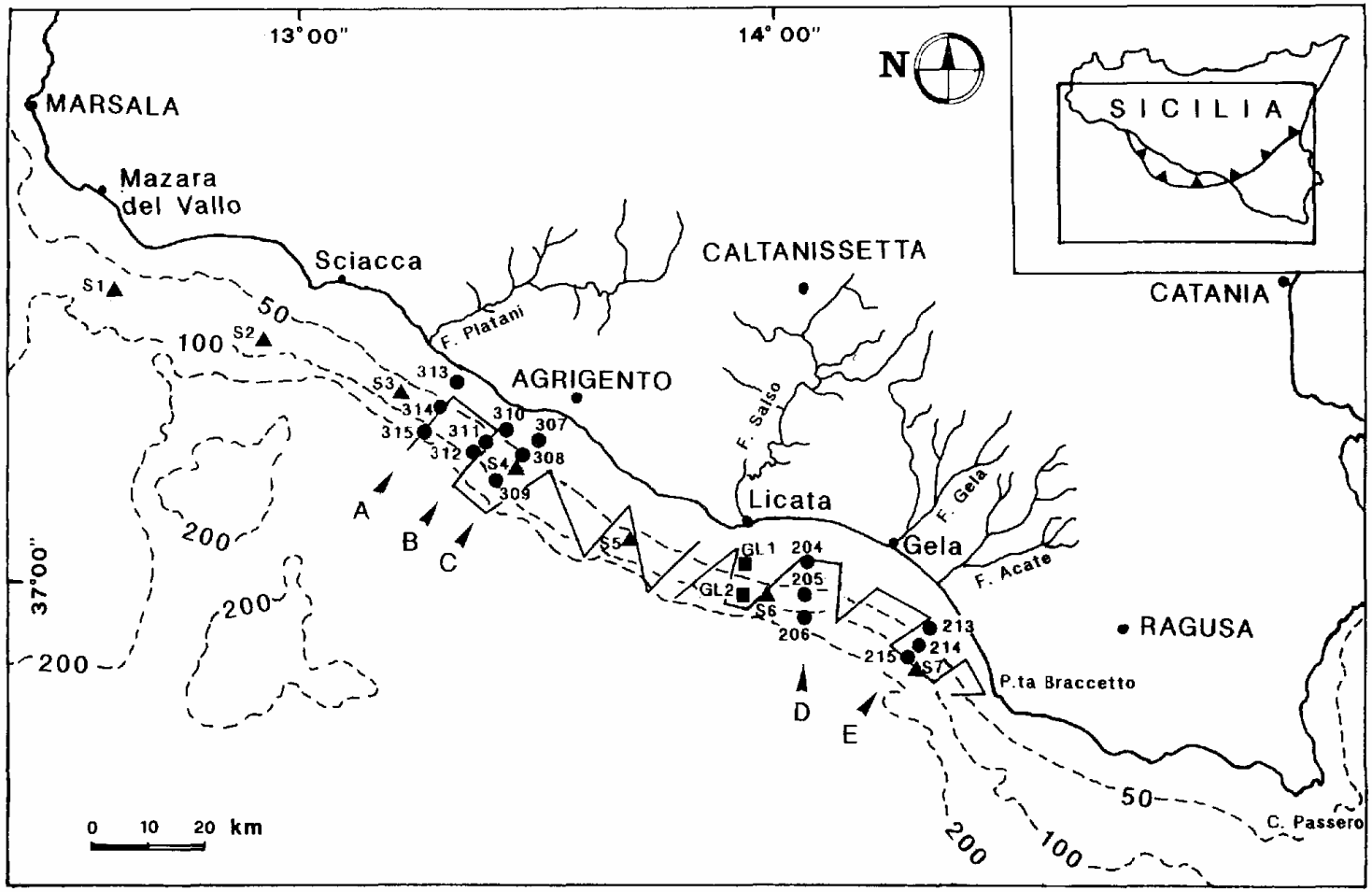


Fig. 1- Ubicazione dei profili sismoacustici raccolti e delle stazioni di campionatura di sedimento superficiale (simbolo tondo: campagna 1993, triangolo: campagna 1994) e dei carotaggi (quadrato); le lettere A-E indicano i transetti di campionamento trasversali a costa. Nel riquadro: ubicazione dell'area di studio con l'indicazione del fronte della Falda di Gela (da Argnani, 1987).

Salso, che drena un bacino idrografico di oltre 2000 km^2 ed ha una portata solida media di circa 1.280.000 m^3/anno (Brambati & Massi, 1983); il torrente Gela mostra, tra i corsi d'acqua affioranti nel tratto costiero in esame, la più elevata portata solida media unitaria.

La piattaforma della Sicilia Meridionale si può considerare un'area di *upwelling,* con risalita lungo, costa di acque più fredde. La corrente costiera prevalente è diretta verso SUD-EST; i venti dominanti hanno direzione NW-SE. Lo scirocco (proveniente da SE) è un vento transiente, ma può raggiungere forte intensità e divenire importante per il trasporto costiero legato al moto ondoso (Istituto Idrografico della Marina, 1982; May, 1982).

3. CAMPIONAMENTO E METODI DI STUDIO

Sono stati presi in esame circa 250 km di profili elettroacustici e sismici ad alta risoluzione (Sub-bottom profiler 3.5 kHz, Sparker 1kJ), raccolti nelle campagne '93-'94 a bordo della N/o URANIA nel tratto compreso tra Sciacca e Punta Braccetto (Fig. 1) ed ubicati nella lascia batimetrica compresa tra i 30 e i 200 m di profondità. I profili sono stati eseguiti lungo transetti il più possibile disposti perpendicolarmente alla costa, spaziati secondo una maglia regolare e posizionati mediante GPS. Per i profili Sparker, registrati su base analogica, si è adottato un tempo base di 0.5 sec ed una banda di frequenza di 400-1200 Hz.

Nel corso delle stesse campagne oceanografiche sono stati raccolti diversi campioni di sedimenti marini superficiali e sub-superficiali nell'area di piattaforma compresa fra Mazara del Vallo e Punta Braccetto. I prelievi superficiali sono stati effettuati mediante benna Shipek intorno ai 70-80 m di profondità lungo tutta la costa esaminata (serie S1-S7); inoltre, per ottenere informazioni sulla tessitura e composizione dei sedimenti trasversalmente alla piattaforma, sono state selezionate due zone (l'area di Sciacca-Agrigento ed il Golfo di Gela) nelle quali sono stati eseguiti prelevamenti lungo transetti perpendicolari alla costa (a profondità di -25, -50 e -100 m circa). 1 bacini dei fiumi Platani, Salso e Gela, che sfociano nelle due zone selezionate, sono, infatti, tra i più estesi del tratto costiero della Sicilia meridionale ed influenzano, con i relativi apporti, la distribuzione dei sedimenti di piattaforma. Alla foce del Fiume Salso (nei pressi di Licata) sono stati eseguiti, infine, due carotaggi mediante carotiere a gravita alle profondità di -25 e -70 m (stazioni GL 1 e GL 2). Nella tabella 1 sono riportate le coordinate di tutte le stazioni di prelievo.

I campioni di sedimento superficiale sono stati sottoposti a lavaggio con acqua deionizzata e successivamente sono state separate, ad umido, le frazioni sabbiose da quelle politiche; quest'ultime sono state sottoposte ad esame al sedigrafo (Micromeritics 5000 ET) per la determinazione della frazione siltosa e argillosa. I campioni sono stati poi sottoposti ad indagine mineralogica mediante diffrattometria RX sia sulla frazione totale (per la determinazione dei costituenti fondamentali) sia sulla frazione <2 µm (per quella dei componenti argillosi). Su questi ultimi sono state effettuati i trattamenti diagnostici di routine per l'identificazione dei diversi minerali argillosi (Damiani *et al.,* 1987).

Le carote GL 1 e GL 2 sono state tagliate e sub-campionate in corrispondenza delle principali variazioni. I sedimenti campionati sono stati lavati e analizzati mediante sedigrafo e setacciatura a intervalli di 1/2 phi (per la frazione >63 µm).

4. INDAGINI SISMOACUSTICHE

La piattaforma continentale, nell'area di studio, mostra un andamento piuttosto regolare ed un'ampiezza media di circa 15 km (Fig. 1); la sua pendenza media è di 0.4° ed il ciglio deposizionale è posto intorno a 100-110 m di profondità nel settore tra Sciacca e Licata e 120-135 m da Licata verso Gela.

Tab. 1 - Ubicazione delle stazioni di campionamento

	carotaggi		
GL 1	13° 54' 18"	37° 01' 08"	-25 m
GL 2	13° 55' 13"	36° 58' 25"	-70 m
	bennate		
S1	12° 36' 00"	37° 29' 00"	-85 m
S2	12° 55' 00"	37° 24' 30"	-95 m
S3	13° 12' 04"	37° 18' 55"	-77 m
S4	13° 26' 45"	37° 11' 35"	-64 m
S5	13° 41' 43"	37° 04' 11"	-64 m
S6	13° 59' 02"	36° 59' 07"	-79 m
S7	14° 16' 06"	36° 52' 49"	-112 m
307	13° 30' 00"	37° 14' 42"	-30 m
308	13° 28' 10"	37° 13' 10"	-53 m
309	13° 24' 20"	37° 10' 20"	-105 m
310	13° 25' 42"	37° 15' 42"	-41 m
311	13° 24' 00"	37° 15' 30"	-60 m
312	13° 21' 54"	37° 13' 10"	-85 m
313	13° 19' 40"	37° 19' 60"	-31 m
314	13° 17' 54"	37° 17' 48"	-58 m
315	13° 15' 01"	37° 19' 60"	-115 m
204	14° 03' 51"	37° 02' 45"	-24 m
205	14° 03' 40"	36° 59' 51"	-55 m
206	14° 03' 28"	36° 57' 54"	-110 m
213	14° 19' 41"	36° 55' 41"	-23 m
214	14° 18' 14"	36° 54' 56"	-50 m
215	14° 15' 56"	36° 53'57"	-102 m

Dall'esame dei profili sismoacustici, la piattaforma appare costituita da più unità progradanti di probabile età pleistocenica, tagliate al tetto da un'estesa superficie di discordanza erosiva ad andamento suborizzontale (Figg. 2 e 3); tale superficie delimita inferiormente la sequenza sedimentaria recente (tardo-quaternaria), caratterizzata sismicamente da riflettori ben marcati, continui e da sub-paralleli a debolmente divergenti.

Il carattere erosivo della superficie di discordanza che taglia le unità progradanti della piattaforma, testimoniato anche da locali irregolarità morfologiche, è verosimilmente riferibile all'abbassamento del livello del mare relativo all'ultimo basso stazionamento wurmiano (circa 18.000 anni B.P.), che portò la piattaforma continentale all'emersione ed all'erosione subaerea. A condizioni deposizionali verificatesi durante la stessa fase di basso stazionamento del livello marino è, presumibilmente, da attribuirsi anche lo sviluppo di un cuneo sedimentario di modeste dimensioni, con geometria interna clinostratificata, che è stato osservato al margine della piattaforma e sepolto sotto l'attuale ciglio, in un limitato settore al largo di Licata (Fig. 2A).

Le successive fasi di risalita del livello marino hanno poi accompagnato la deposizione delle sequenze trasgressiva e di alto stazionamento di età tardo-pleistocenica/olocenica, ben sviluppate sul tratto di piattaforma considerato grazie all'abbondante carico sospeso proveniente dall'entroterra. L'ubicazione dei punti di entrata dei principali apporti sedimentari, assieme all'andamento morfologico della superficie erosiva, esercita infatti il principale controllo sulla distribuzione dei depositi tardo pleistocenici e olocenici, il cui spessore è stato mappato interpolando linearmente i dati ottenuti sui profili (Fig. 4).

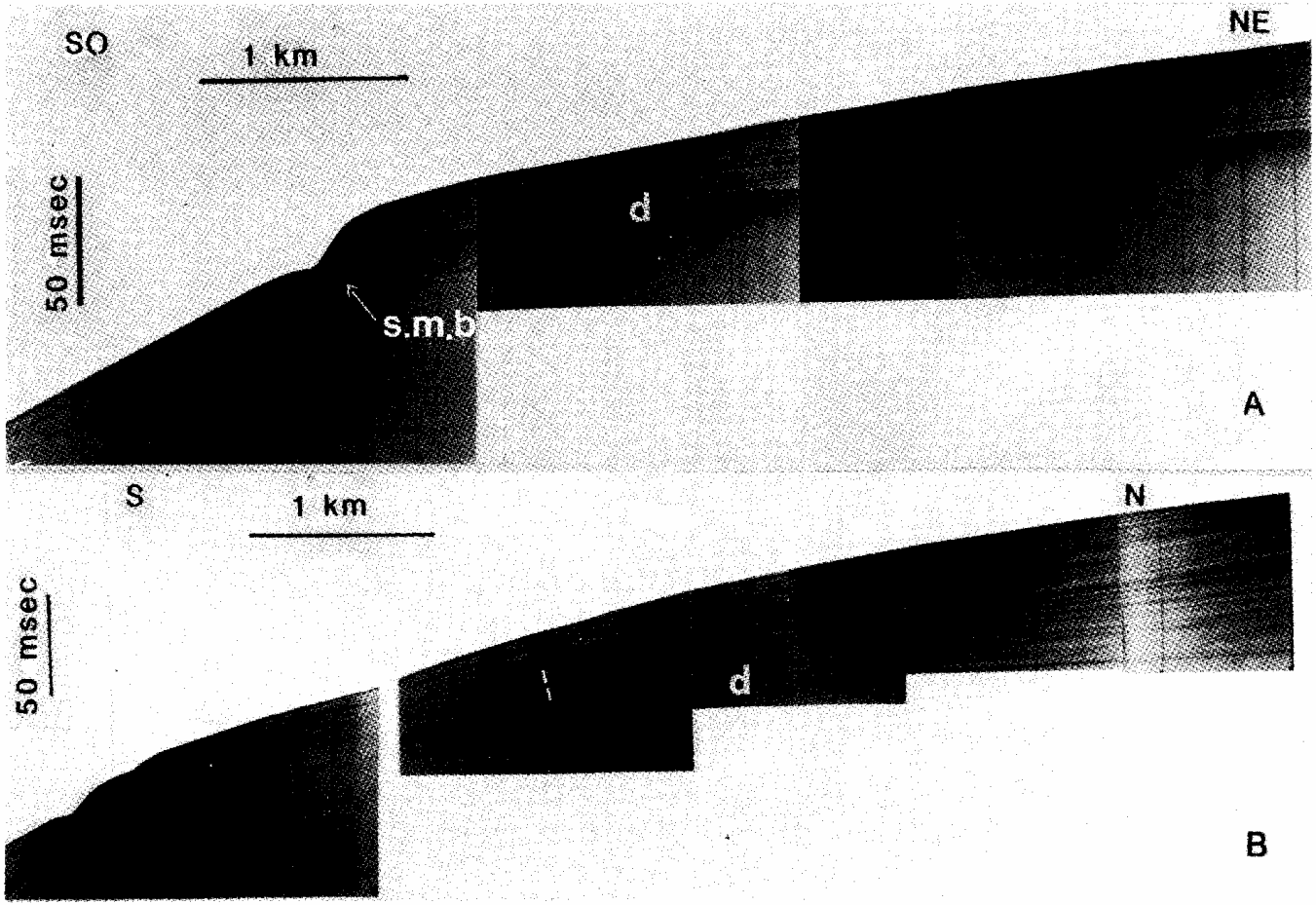


Fig. 2 - A) Profilo S.B.P. 3.5 kHz. Si nota la superficie di discordanza erosiva (d), che taglia le sottostanti unità di progradazione della piattaforma e che costituisce la base della sequenza tardo-pleistocenica ed olocenica. Sotto il margine attuale della piattaforma, è presente un corpo sedimentario di margine di piattaforma (s.m.b, *shelf-margin body*), cuneiforme e con struttura interna progradante, a *foresets* più acclivi di quelli della piattaforma su cui è impostato. Ubicazione in Fig. 4. B) Profi-lo S.B.P. 3.5 kHz al largo di Gela. In corrispondenza di questo settore si osservano gli spessori massimi dei depositi recenti; in particolare, si riconosce un piccolo alto di origine strutturale a livello della superficie discordanza erosiva (d). Estesi fenomeni di instabilità gravitativa sono presenti al ciglio della piattaforma e sulla scarpata superiore. L'ubicazione del profilo è in Fig. 4.

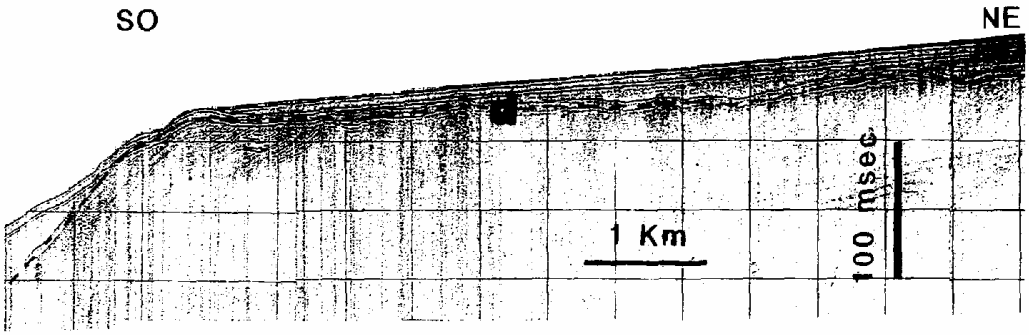


Fig. 3 - Profilo Sparker 500 J del tratto di piattaforma antistante Agrigento, dove si osservano i minimi spessori di sedimenti al di sopra della superficie di discordanza erosiva (d). L'ubicazione del profilo è in Fig. 4.

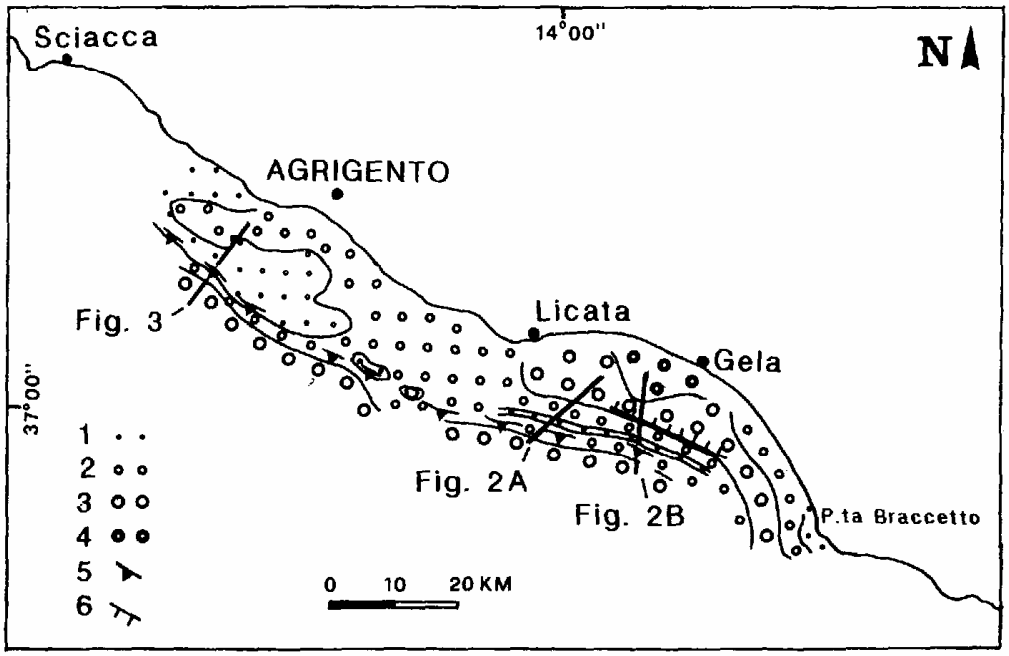


Fig. 4 - Carta degli spessori dell'unità sedimentaria tardo pleistocenica-olocenica sovrastante la superficie di discordanza erosiva. Legenda: spessori: 1- tra 0-20 msec; 2 - 20-40 msec; 3 - 40-60 msec; 4 - >60 msec; 5: ciglio attuale della piattaforma; 6: faglia normale. Sono, inoltre, indicate le tracce dei profili di Figg. 2 e 3.

Valori compresi tra 20-40 millisecondi (corrispondenti a circa 17-35 m se si utilizza una velocità di 1700-1800 m/sec per le conversioni tempi-distanze) si osservano su buona parte dell'area in esame, dove la sedimentazione drappeggia, con spessori continui e regolari, la piattaforma e l'adiacente scarpata superiore.

I depositi recenti mostrano spessori superiori ai 40 ms (e fino a valori massimi di 80 ms, circa 70 m) nella parte più interna del Golfo di Gela, lungo una fascia subparallela alla linea di costa (Figg. 2 e 4); tale distribuzione è sicuramente connessa all'elevato apporto sedimentario fornito dai fiumi Salso e Gela (in accordo con le direzioni del trasporto litoranee prevalente). Inoltre è presente nel settore antistante Gela, a livello della superficie di discordanza erosiva, un piccolo alto sepolto di origine morfo-strutturale, che appare ribassato nel lato verso costa da una faglia distensiva e favorisce l'ispessimento delle sequenze sedimentarie recenti nel tratto interno della piattaforma (Fig. 2B). La faglia pare dislocare di pochi metri anche la parte basale della sequenza tardo pleistocenica; si è potuta seguire su alcune linee sismiche per almeno 15 km, mostrando un' orientazione ONO-ESE, del tutto in accordo con l'andamento delle principali strutture neotettoniche riconosciute nel settore (CNR, 1987; Antonelli *et al.,* 1988). Se si esclude questa, non sono state, peraltro, osservate evidenze di tettonica recente nell'area di piattaforma indagata, la cui sedimentazione appare generalmente indisturbata. Sono invece ampiamente diffusi fenomeni di scivolamento gravitativo nella copertura superficiale, soprattutto in corrispondenza dei settori nei quali questa raggiunge spessori discreti o rilevanti ed, in particolare, dove sono presenti arretramenti di tipo erosivo nel ciglio della piattaforma. Questo fenomeno si osserva sia a sud-ovest di Licata, sia nel tratto occidentale del Golfo di Gela (dove gli spessori dei depositi olocenici sono i più elevati dell'area e scivolamenti gravitativi si osservano anche al di sotto della discordanza erosiva, localizzati sempre presso il ciglio della piattaforma e la scarpata superiore, Fig. 2B).

Spessori sedimentari scarsi si registrano, invece, nei depositi recenti del settore di piattaforma antistante Agrigento decisamente sottoalimentata. Qui il tetto delle unità pleistoceniche progradanti, tagliate in discordanza dalla superficie erosiva, è maggiormen te rilevato ed arriva quasi ad emergere presso il ciglio della piattaforma (Fig. 3); gli spessori dei depositi olocenici tendono a decrescere verso la piattaforma esterna e raggiungono valori di aggradazione minimi o nulli sul margine per poi aumentare sulla scarpata superiore, mettendo in evidenza come l'apporto fluviale da parte del Fiume Platani sia ormai estremamente ridotto ed essenzialmente fine e come la stessa piattaforma rappresenti un'area di prevalente "by-passing".

Infine, un altro minimo di spessore nei depositi olocenici è stato osservato nei pressi di Punta Braccetto, probabilmente in relazione a fattori morfologici e idrodinamici.

5. GRANULOMETRIA DEI SEDIMENTI

I dati delle analisi granulometriche effettuate sui sedimenti superficiali hanno mostrato che, nel tratto di piattaforma considerato, questi sono prevalentemente siltoso-argillosi o francamente argillosi (Tab. 2). Una tendenza alla diminuzione della granulometria si è osservata, oltre che procedendo dalla costa verso il largo, anche in senso longitudinale rispetto alla piattaforma (Fig. 5): i sedimenti campionati intorno alla batimetrica dei 25 m risultano, infatti, più poveri in silt procedendo da Gela verso Mazara del Vallo; analogamente, granulometrie da argilloso-siltose ad argillose diventano predominanti a partire da -80/-100 m nel Golfo di Gela mentre, procedendo verso NO, si osservano a profondità via via decrescenti (mediamente attorno ai -50/-60 m).

Le osservazioni effettuate sulle due carote a gravita campionate nell'area antistante Licata hanno messo in evidenza, già ad un primo esame, una buona omogeneità dei sedimenti prelevati, che risultano costituiti da peliti di colore grigio scuro e sono generalmente privi di strutture.

stazione	ghiaia	sabbia	silt	argilla
transetto A				
313	0	1	51	48
314	0	2	23	75
S3	0	1	21	78
315	0	0	21	79
transetto B				
310	0	1	58	41
311	0	1	28	71
312	0	0	19	81
transetto C				
307	0	0	68	32
308	0	1	25	74
S4	0	1	21	78
309	0	0	22	78
transetto D				
204	0	0	72	28
205	0	0	46	54
S6	0	0	23	77
206	0	0	30	70
transetto E				
213	0	0	73	27
214	0	0	49	51
215	0	0	43	57
S7	0	0	23	77
serie S1 - S7				
S1	0	3	24	73
S2	0	0	17	83
S3	0	1	21	78
S4	0	1	23	76
S5	0	1	25	74
S6	0	0	23	77
S7	0	0	23	77

Tab. 2 - Caratteri granulometrici dei sedimenti superficiali.

campione	media (phi)	classazione (Ds)	asimmetria (Sk)	appuntimento (Kg)	profondità (cm) dal top della carota
GL1A	9.60	2.72	0.20	0.63	-5
GL2A	8.55	2.17	0.21	0.95	-5
GL1B	9.59	2.62	0.20	0.79	-20
GL2B	8.98	1.93	0.15	0.90	-50
GL1C	9.61	2.46	0.23	0.80	-70
GL2C	8.93	2.21	0.23	0.96	-95
GL1D	9.40	2.59	0.18	0.77	-110
GL2D	9.32	2.21	0.20	0.84	-115
GL1E	9.68	2.79	0.15	0.72	-170
GL2E	9.26	2.05	0.04	0.68	-150
GL1F	8.69	2.83	0.23	0.76	-210
GL2F	9.45	2.44	0.22	0.83	-205
GL1G	9.51	2.74	0.23	0.74	-240
GL2G	9.42	2.26	0.12	0.83	-240
GL1H	9.78	2.56	0.20	0.69	-275
GL2H	9.72	2.32	0.13	0.75	-270

Tab. 3 - Confronto dei parametri statistici fra le carote GL1 e GL2.

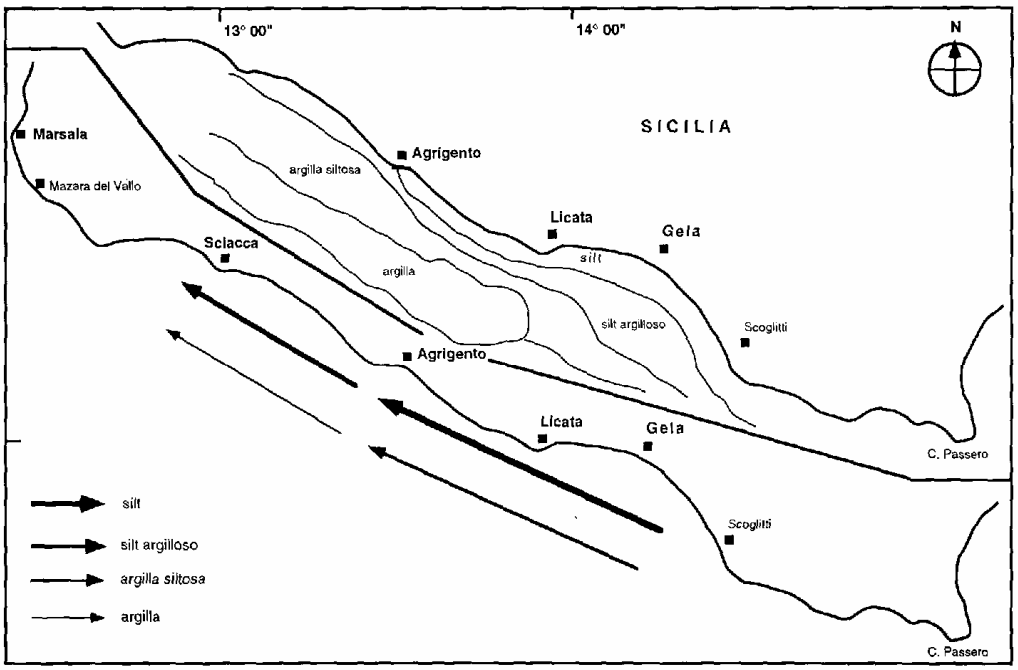


Fig. 5 - Distribuzione dei sedimenti superficiali nell'area di studio. Lo spessore delle frecce rappresenta l'andamento granulometrico lungo costa (non rappresenta la direzione ed intensità del trasporto).

L'analisi granulometrica ha permesso di classificare tutti i campioni delle due carote, provenienti dal settore antistante la foce del F. Salso, come argille siltose; dal confronto dei valori dei parametri statistici (Tab. 3), si deduce che i valori di Mz variano fra 8 e 9 phi, Ds e Kg sono tipici di depositi poco cerniti e lo Sk risulta sempre leggermente positivo e caratteristico di deposizione in ambiente di bassa energia. Da tali osservazioni si deduce che non esistono variazioni tessiturali rilevanti nel pacco dei sedimenti sub-superficiali dalla costa verso il largo.

In conclusione, dal punto di vista granulometrico, i sedimenti recenti della piattaforma presentano una distribuzione piuttosto regolare che può essere attribuita principalmente a due condizioni:

- la piattaforma presenta andamento regolare e caratteri morfologici essenzialmente simili per tutto il tratto esaminato; ne consegue una dinamica relativamente uniforme nei processi di dispersione e deposizione dei sedimenti;
- la litologia affiorante lungo il tratto costiero è, sostanzialmente, la medesima ed è costituita prevalentemente da formazioni pelitiche; solo nel bacino del Fiume Gela e nell'estrema zona orientale sono presenti depositi arenacei ai quali sono correlabili le tessiture leggermente più grossolane dei sedimenti marini corrispondenti.

6. DATI MINERALOGICI

Nella tabella 4 sono riportati i dati relativi ai componenti mineralogici fondamentali per i campioni della serie *SI-SI* (prelevati longitudinalmente alla costa - Fig. 1) e dei transetti A-E (trasversali alla costa, nella zona di Sciacca-Agrigento e nel Golfo di Gela),

stazione	argillosi	quarzo	calcite	dolomite	feldspati	plagioclasi	Min. pes.
transetto A							
313	29	39	23	2	4	2	1
314	70	8	13	1	1	2	5
S3	71	8	13	1	1	1	5
315	76	6	11		1	1	5
transetto B							
310	61	15	16	1	4	1	2
311	70	8	13	1	2	1	5
312	75	6	11	1	1	1	5
transetto C							
307	35	30	17	11	3	2	2
308	64	10	18	1	2	1	4
S4	72	7	12	2	1	1	5
309	70	6	15	1	1	1	6
transetto D							
204	44	23	23	2	4	1	3
205	68	9	15	1	1	2	4
S6	70	7	13	2	2	1	5
206	70	8	14	1	2	1	4
transetto E							
213	36	28	22	3	7	2	2
214	65	12	14	2	2	2	3
215	58	14	18	2	1	3	4
S7	64	9	14	3	4	1	5
serie S1 - S7							
S1	74	8	11	1	2	1	3
S2	79	6	9	1	1	1	3
S3	71	8	13	1	1	1	1
S4	72	7	12	2	1	1	5
S5	72	8	12	1	1	1	5
S6	70	7	13	2	2	1	5
S7	64	9	14	3	4	1	5

Tab. 4 - Dati mineralogici: tout venant.

stazione	smectite	illite	caolinite	clorite	Interstratificati
transetto A					
313	6	6	13	4	0
314	14	16	28	12	0
S 3	14	13	28	16	0
315	21	15	28	12	0
transetto B					
310	15	13	24	10	0
311	17	14	27	12	0
312	17	15	32	11	0
transetto C					
307	7	7	15	8	0
308	14	12	25	13	0
S 4	15	12	30	15	0
309	18	12	29	10	0
transetto D					
204	0	14	8	16	6
205	14	7	14	24	9
S 6	16	10	24	14	7
206	23	10	15	11	11
transetto E					
213	11	6	8	8	4
214	18	12	15	13	7
215	20	9	15	9	5
S 7	19	8	19	13	5
serie SI - S7					
S 1	16	13	28	17	0
S 2	18	14	30	17	0
S 3	14	13	28	16	0
S 4	15	12	30	15	0
S 5	16	12	24	14	8
S 6	16	10	24	14	8
S 7	19	8	19	13	5

Tab. 5 - Dati mineralogici: minerali argillosi.

diagrammati anche nella figura 6). È possibile effettuare una serie di osservazioni sulla distribuzione dei diversi componenti mineralogici nell'area di piattaforma: quarzo: presenta una distribuzione regolare, con marcata diminuzione percentuale dalla costa verso il largo (da oltre il 30 % a <10 %);

K-feldspato e plagioclasi: mostrano andamento simile a quello del quarzo, con diminuzione regolare dalla costa al largo;

calcite: diminuisce percentualmente in modo graduale dalla costa verso il largo, di pari passo con le variazioni granulometriche;

dolomite: presenta dei contenuti piuttosto omogenei lungo tutta la piattaforma (valori <5 %) senza sostanziali variazioni in senso trasversale e longitudinale. Valori più alti (intorno al 10 %) si sono riscontrati sottocosta nel settore antistante Agrigento;

minerali pesanti: presentano un andamento con massimi di concentrazione nei sedimenti lontani da costa ed a granulometrie più fini. Normalmente i componenti pesanti sono associati alla frazione sabbiosa; in quest'area, dove i sedimenti sono prevalentemente argilloso-siltosi, i massimi si rinvengono, invece, nella frazione più fine e sono costi tuiti da ossidi di ferro e solfuri di piccole dimensioni;

minerali argillosi: la frazione argillosa è costituita da smectite, illite, caolinite, clorite ed interstratificati (Tab. 5 e Fig. 7); si nota come i componenti argillosi aumentano regolarmente, procedendo dalla costa verso il largo, in tutta l'area di piattaforma. Caolinite e smectite sono prevalenti, riflettendo, secondo Chamley (1983), l'apporto locale di provenienza siciliana, che a partire dal tardo Pliocene diventa più evidente nel riempimento del Bacino di Caltanissetta.

La distribuzione delle diverse frazioni argillose evidenzia alcuni andamenti:

smectite: mostra un leggero aumento percentuale dal settore occidentale verso quello orientale;

interstratificati: si rinvengono nel solo settore orientale (Golfo di Gela), associati a un contenuto elevato di smectite;

caolinite: ha andamento tendenzialmente inverso a quello della smectite, con leggera dimi nuzione da ovest verso est;

illite e clorite: presentano tenori abbastanza costanti in tutta l'area di piattaforma (mediamente attorno al 10-15 %).

In conclusione, le distribuzioni mineralogiche sui transetti perpendicolari alla costa mostrano un andamento influenzato dalla granulometria, con diminuzione del contenuto nei principali minerali silicoclastici (Ferretti *et al.,* 1994) e in calcite procedendo dalla costa verso il largo; al contrario, minerali argillosi e minerali pesanti tendono ad aumentare verso l'esterno della piattaforma.

Gli andamenti longitudinali presentano alcune variazioni: il contenuto di minerali argillosi, in particolare di caolinite, tende ad aumentare nel settore orientale; nel Golfo di Gela si osserva un moderato incremento del contenuto di calcite e, tra i minerali argillosi presenti, l'aumento di smectite e la comparsa degli interstratificati. Tali distribuzioni possono essere correlate con la relativa omogeneità litologica dell'entroterra e degli apporti fluviali nel tratto costiero (Brandi *et al,* 1979 e 1982).

7. CONCLUSIONI

Le ricerche condotte sull'area di piattaforma della Sicilia meridionale hanno permes so di ottenere per essa una prima caratterizzazione geologica e deposizionale. Si tratta di una piattaforma ampia e regolare, caratterizzata da una significativa aggradazione e progra dazione tardo-pleistocenica ed olocenica, che è costituita prevalentemente da deposizione di materiali fini derivanti dalle formazioni argillose e marnose ampiamente rappresentate nell'entroterra e nel settore costiero.

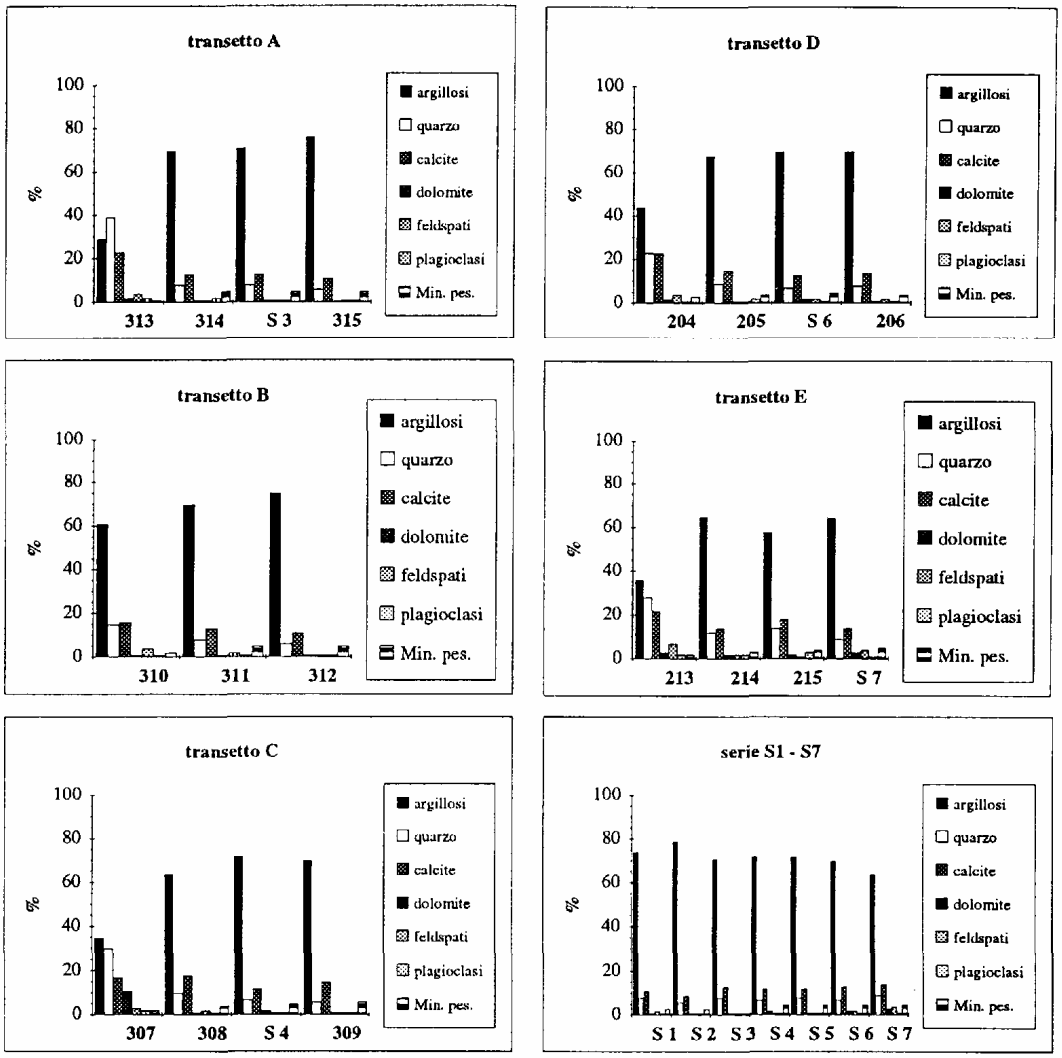


Fig. 6 - Composizione mineralogica dei sedimenti: tout venant.

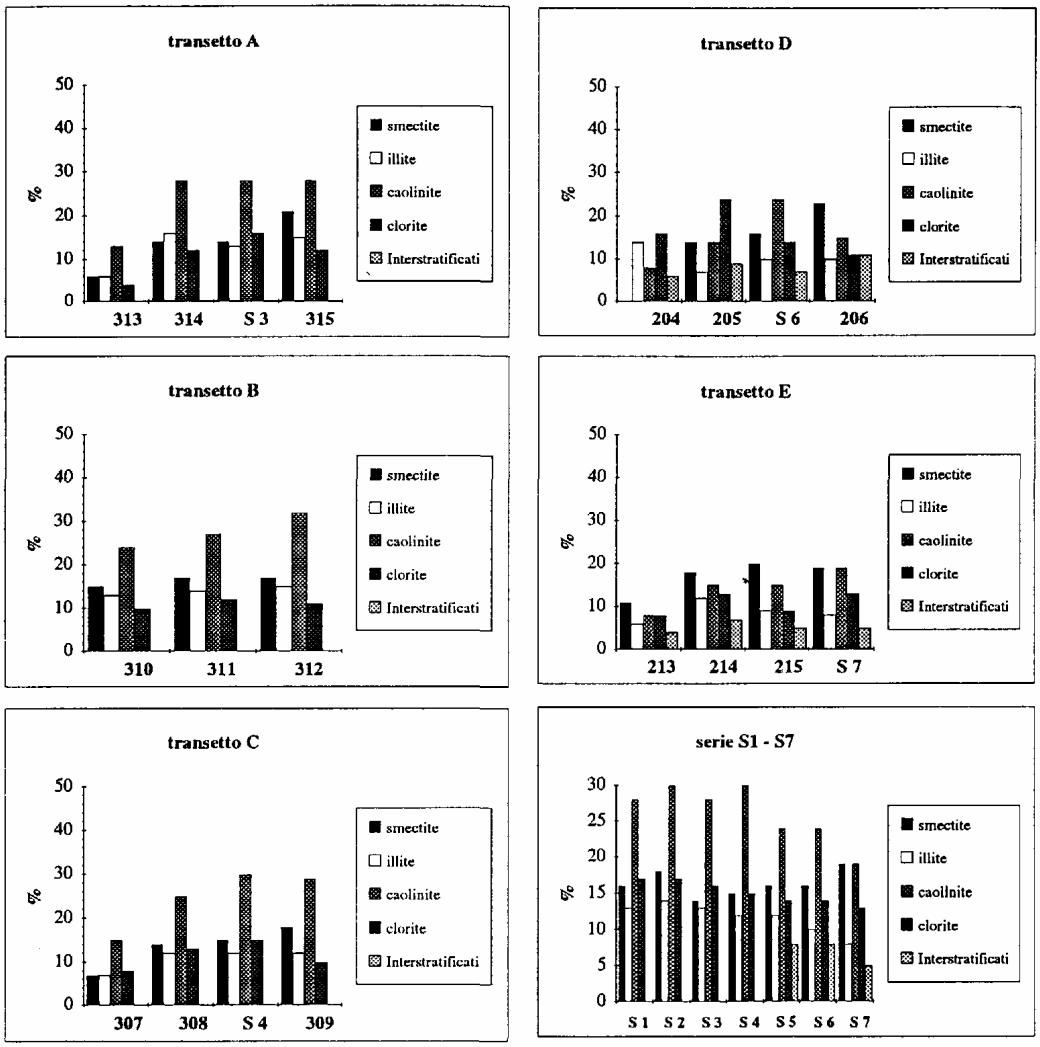


Fig. 7 - Composizione mineralogica dei sedimenti: minerali argillosi.

L'assetto sismostratigrafico del margine suggerisce che le variazioni più significative nelle condizioni deposizionali recenti sono in relazione all'ubicazione degli apporti alluvionali più consistenti ed alle condizioni idrodinamiche del margine. I massimi spessori dei depositi tardo-quatemari si osservano, infatti, in corrispondenza dei principali corsi fluviali (Fiumi Salso e Gela) e in accordo con le direzioni di dispersione delle correnti, grazie alle quali l'abbondante carico sospeso si deposita anche sulla piattaforma esterna e sulla scarpata; il settore di piattaforma agrigentino rappresenta, invece, una zona a più ridotta sedimentazione e a coperture sedimentarie più fini. Le indagini sismoacustiche hanno peraltro evidenziato la relativa complementarietà tra la morfologia ed assetto strutturale della superficie di discordanza erosiva, che si è osservata alla base delle sequenze oloceniche, e lo spessore dei sedimenti recenti sovrastanti.

Nei settori di piattaforma studiati si osserva, dal punto di vista tessiturale, una regolare distribuzione delle granulometrie dalla costa verso il largo e, longitudinalmente, un aumento della componente fine verso ovest. Le composizioni mineralogiche dei sedimenti mostrano un andamento trasversale alla costa influenzato soprattutto dalla distribuzione granulometrica ed un andamento longitudinale con minori variazioni composizionali; tali caratteri sedimentari sono da correlarsi con la relativa omogeneità litologica dell'entroterra e degli apporti fluviali nel tratto costiero. Si può inoltre ritenere che sia gli apporti fluviali che i processi di dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino siano rimasti sostanzialmente invariati durante il periodo di deposizione sedimentaria recente ed attuale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano: il Prof. P.V. Curzi per le analisi granulometriche (serie S1 - S7), il Dr. A. Ribotti (ENEA S. Teresa - La Spezia) per la collaborazione nell'elaborazione dei profili sismici, il Dr. S. Mazzola (CNR ITTP - Mazara del Vallo) e tutto il personale che ha partecipato alle campagne oceanografiche a bordo della N/O URANIA.

BIBLIOGRAFIA

Antonelli M., Franciosi R., Querci A., Ronco G.P. & Vezzani F. 1988. Paleogeographic evolution and structural setting of the Northern side of the Sicily Channel. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41: 141-157.

Argnani A. 1987. The Gela Nappe: evidence of accretionary melange in the Maghrebian foredeep of Sicily. *Mem. Soc. Geol. It.,* 38: 419-428.

Argnani A., Cornini S., Torelli L. & Zitellini N. 1987. Diachronous foredeep-system in the neogene-Quaternary of the Strait of Sicily. *Mem. Soc. Geol. It.,* 38: 407- 417.

Brambati A. & Massi G. 1983. Studio sedimentologico marittimo costiero per la difesa dei litorali ed esame delle caratteristiche qualitative delle acque del Golfo di Gela. Amministrazione Provincia di Caltanissetta, Assessorato Territorio e Ambiente.

Brondi A., Anselmi B. & Ferretti O. 1982. Studi sui parametri geologici rilevanti al fine della determinazione della contaminazione ambientale del territorio nazionale. Rapporti fra litologia delle terre emerse e composizione mineralogica della frazione argillosa dei sedimenti fluviali dei più importanti fiumi italiani (II parte). *Rend. Soc. Min. Petr.,* 38(3): 1299-1313.

Brondi A., Ferretti O., Anselmi B. & Falchi G. 1979. Analisi granulometriche e mineralogiche dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano. *Boll. Soc. Geol. It.,* 98: 293-326.

Catalano R. & D'Argenio B. 1982. Schema geologico della Sicilia occidentale. In: Guida alla geologia della Sicilia occidentale (Catalano R. & D'Argenio B. eds.), Palermo: 9-41.

Chamley H. 1983. Marine and Continental antagonistic influences in Mediterranean Late neogene to recent clay sedimentation. In: Reconstruction of marine paleoenvironments (Meulenkamp J.E. ed). *Utrecht Micropaleontol. Bull,* 30: 71-90.

Consiglio Nazionale delle Ricerche. 1985. Atlante delle Spiagge Italiane, F. 276 - RAGUSA; F. 275 - SCOGLITTI; F. 272 - GELA; F.271 - AGRIGENTO; F. 266 - SCIACCA; F. 265 - MAZARA DEL VALLO.

Consiglio Nazionale delle Ricerche. 1987. Neotectonic map of Italy. C.N.R., *Quaderni della Ricerca Scientifica,* n°l14, vol. 4.

Damiani V., Ferretti O. & Veniale F. 1987. Procedure di analisi di materiali argillosi. Atti del Workshop ENEA CREA S. Teresa, luglio 1987, *Collana Studi Ambientali,* ENEA.

Ferretti O., Immordino F. & Randazzo G. 1994. Sediment provenance and transport in the Sicily coastal area (Gulf of Gela): morphoscopic study of quartz sand grain. In: Proceedings of Congress Littoral 94, Lisbona, 2: 1019-1021, Edited by Association EUROCOAST-PORTUGAL.

Istituto Idrografico della Marina 1982. Atlante delle correnti superficiali dei mari italiani. Genova.

May P.W. 1982. Climatological flux estimates in the Mediterranean Sea: Part I. Winds and wind stresses. NORDA Tech. Rep. 54. Act Stennis Space Center, MS 1982.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 473 - 486.

METALLI IN TRACCE E CONTAMINANTI ORGANICI NEI SEDIMENTI PROVENIENTI DA DIFFERENTI AREE MARINE COSTIERE IN RELAZIONE ALLA MOVIMENTAZIONE DEI FONDALI

Elena ROMANO[1], Massimo GABELLINI[1],
David PELLEGRINI[2], Antonella AUSILI[2], Francesco MELLARA[2]

[1]Centro Interuniversitario di Biologia Marina (CIBM), P.le Mascagni 1, 57127 Livorno
[2]Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ICRAM), Via L. Respighi 5, 00197 Roma

ABSTRACT

Contaminant distributions in marine sediment are due to natural and anthropic sources and transport and depositional processes and sedimentary environment. This situation is more evident along the Italian coasts, where grain size and mineralogical composition reflect the high variability of geological and morphological environment.

Concentration and distribution of some chemicals in relation to input and sedimentary environment characteristics are critical points to start a correct procedure to identify and, subsequently, estimate the suitability of an area to receive sediment from dredging activities. Heavy metals and organic compounds in different superficial sediment samples of Tyrrhenian Sea and Ligurian Sea are considered in relation to different sediment texture.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito della problematica relativa alla movimentazione dei fondali marini (dovuta ai dragaggi portuali ed alle relative attività di scarico, alla posa di cavi e di condotte sottomarine, ecc.) assume una notevole importanza l'individuazione di "valori di riferimento" sia per gli elementi naturalmente presenti che per le sostanze inquinanti contenute nei sedimenti delle aree interessate (Pellegrini *et al.,* 1992). Inoltre, giungere ad una definizione di "criteri di qualità" di questi materiali risulta fondamentale al fine di stabilire la loro ultima destinazione (scarico in mare e/o possibilità di riutilizzo anche dopo eventuali trattamenti).

La quantità delle diverse sostanze considerate nei processi di valutazione per la qualità dei sedimenti da movimentare è dovuta sia ad un contributo "naturale" che "antropico", mentre per quanto riguarda la loro distribuzione i fattori che la regolano sono molteplici, tra cui la composizione e tessitura del sedimento e le caratteristiche

morfologiche ed idrodinamiche del bacino di sedimentazione ricettore (Anselmi *et al.,* 1980).

Questo è più evidente lungo le coste italiane dove l'estrema variabilità dei caratteri geologico-morfologici si riflettono nella variabilità dei valori di concentrazione degli elementi considerati, strettamente correlati con le caratteristiche geochimiche delle rocce di origine; è, inoltre, nota la proprietà della frazione fine del sedimento (<63 µm) ad interagire con i contaminanti rilasciati nell'ambiente e presenti in soluzione o asso ciati al particolato organico (Brondi, 1978).

Lo scopo di questo lavoro è quindi quello di cercare di mettere a confronto dati provenienti da diverse aree marine della penisola italiana caratterizzate da un'elevata variabilità nella natura degli apporti (siano essi naturali e/o antropici) e nell'assetto degli ambienti di deposizione; questo al fine di evidenziare, per quanto possibile, il grado di variazione nei sedimenti delle concentrazioni degli elementi considerati ed il loro legame con le caratteristiche peculiari dell'area interessata.

2. INQUADRAMENTO GENERALE DELLE AREE INDAGATE

Le aree marine prese in considerazione per il presente lavoro sono state l'areale compreso tra Vado Ligure e Bergeggi (Savona) "area A"; la piattaforma continentale tra Livorno e Pisa "area B"; la porzione orientale della Baia di Carini (Palermo) "area C" ed i fondali dell'Isola di Ustica "area D" (Fig. 1).

Area A

L'area considerata è caratterizzata da una piattaforma poco estesa, di natura prevalentemente rocciosa, con sedimentazione olocenica praticamente trascurabile, complicata dalla presenza, a Nord dell'area indagata, del canyon di Vado che funge da collettore di gran parte dei sedimenti disponibili (Fanucci *et al.,* 1996). La distribuzione e la composizione dei sedimenti sono in stretta relazione con l'assetto morfologico del fondale e gli apporti fluviali; la componente argillosa tende ad aumentare con la profondità mentre la circolazione delle masse d'acqua risulta diretta prevalentemente da NW a SE. La litologia dei terreni su cui incidono i principali corsi d'acqua della zona, principalmente a carattere torrentizio, è caratterizzata dalla presenza di numerosi litotipi quali rocce ignee sia acide che basiche, metamorfiti, calcari e dolomie, detriti e alluvioni recenti (Tucci *et al,* 1989).

AreaB

L'area rientra nella piattaforma continentale toscana caratterizzata da una morfologia uniforme e relativamente pianeggiante, leggermente inclinata verso Ovest e formata da un potente accumulo di sedimenti plio-quaternari (Fanucci, 1981). Nel settore meridionale il suo andamento è complicato dalla presenza delle Secche della Meloria, elemento morfologico di natura carbonatica.

La composizione e distribuzione dei sedimenti dipendono principalmente dalle caratteristiche e dalla natura dei principali apporti fluviali (fiume Amo e fiume Serchio) trasportati verso NW dal drift costiero e dall'influenza, nella porzione meridionale, dell'apporto bioclastico ad opera delle Secche della Meloria (Leoni *et al,* 1992).

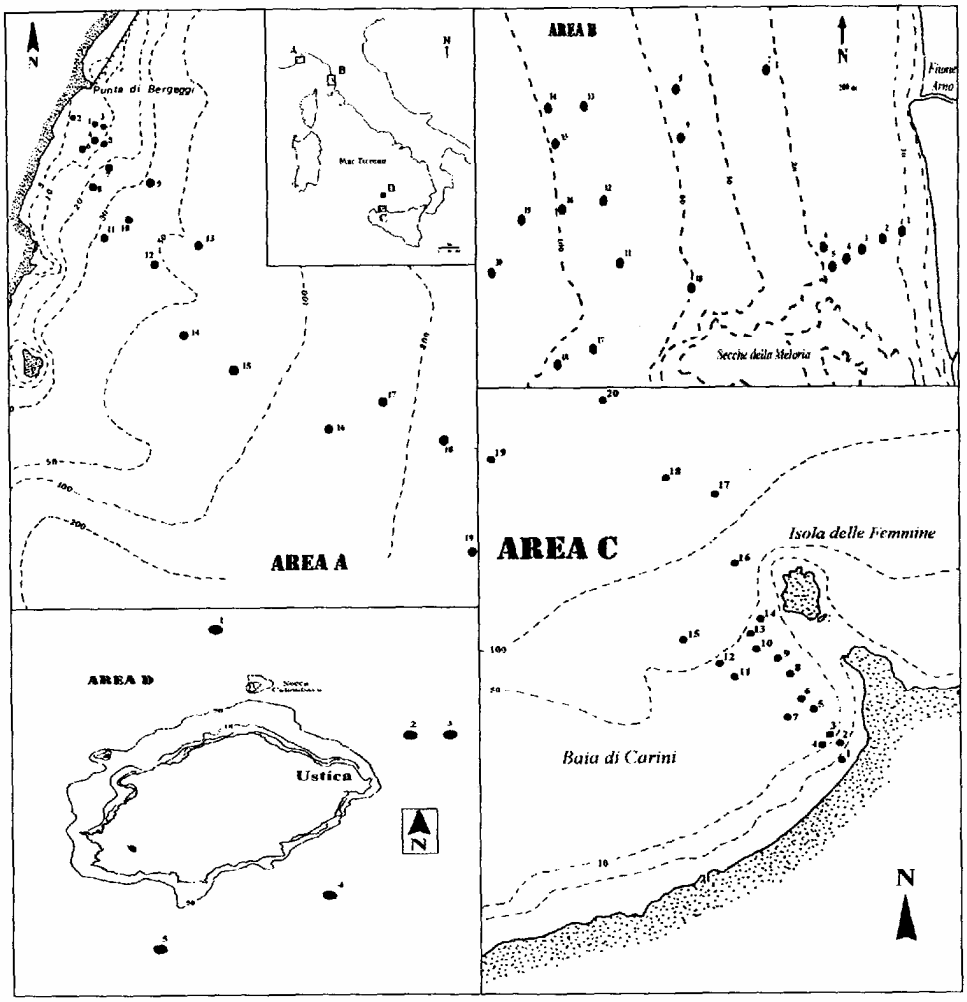


Fig. 1 – Indicazione delle aree di studio e relativi punti di campionamento.

In generale, i sedimenti si distribuiscono con granulometria decrescente da costa verso largo in relazione sia alla batimetria che all'andamento delle correnti principali. I materiali che si accumulano in quest'area provengono quasi esclusivamente dalle zone continentali adiacenti che, riflettendo le peculiarità dei bacini interessati, sono caratterizzate da una estrema variabilità; si tratta in prevalenza di rocce sedimentarie, la cui composizione varia da carbonatica a marnoso-argillosa ad arenacea; in misura minore da rocce metamorfiche (prevalentemente marmi, metaconglomerati, meta-arenarie e filladi); relativamente diffuse appaiono, inoltre, le formazioni neoautoctone, rappresentate principalmente da sabbie, argille marine mio-plioceniche e depositi alluvionali quaternari (Leoni *et al.,* 1995).

Infine, per quanto riguarda la circolazione generale delle masse d'acqua questa è prevalentemente diretta verso N, con variazioni locali e stagionali legate alle diverse caratteristiche idrologiche delle acque del Mar Tirreno e del Mar Ligure.

Area C

L'area in esame si colloca al margine orientale della Baia di Carini (Sicilia nord-occidentale) in prossimità di Isola delle Femmine. La piattaforma continentale, costituita dal proseguimento in mare dei massicci carbonatici meso-cenozoici coperti dai depositi più recenti plio-quaternari, appare caratterizzata da strutture morfologichc poste a differenti batimetrie e collegate tra loro da canali che favoriscono il trasporto dei sedimenti (Lucido, 1992).

Tale assetto morfologico condiziona la distribuzione dei sedimenti, anche se, generalmente questa risulta legata alla batimetria con l'aumento della componente fine con la profondità. I caratteri composizionali dei sedimenti, essenzialmente di natura carbonatica, riflettono la "natura" delle due principali sorgenti: la prima, biogenica, dovuta all'intensa attività biologica dell'area; la seconda, terrigena, legata agli apporti continentali, caratteristica delle zone più distali (Setti *et al.,* 1996).

Area D

L'area in esame rappresenta la prosecuzione sottomarina dell'edificio vulcanico che costituisce l'isola, emerso in tempi relativamente recenti e successivamente sotto posto ad una serie di eventi sia tettonici che effusivi che hanno causato sprofondamenti e quindi alterato la morfologia sia subaerea che sottomarina.

La peculiarità di questo ambiente si riflette sulla distribuzione dei sedimenti, soprattutto nelle aree più a ridosso dell'isola, che si presenta alquanto eterogenea; in generale, comunque, la granulometria tende a diminuire con la profondità (AA. VV., 1995). I materiali che si accumulano su questi fondali provengono quasi esclusivamente dall'erosione e disgregazione delle rocce vulcaniche affioranti, principalmente basalti alcalini (Cinque *et al,* 1992), oltre che da una componente biodetritica legata all'attività organogena localizzata soprattutto sugli alti morfologici.

3. MATERIALI E METODI

Sono stati considerati circa 20 campioni di sedimento superficiale (0-2 cm) per ciascuna area (Fig. 1) ad eccezione dell'area di Ustica, prelevati tra il 1994 ed il 1997, a partire dalle zone più prossime alla costa, fino a profondità variabili a secondo dell'area di studio (Tab. 1); in particolare, nell'area D sono stati considerati un numero inferiore di campioni, in relazione sia al trascurabile apporto antropico che al ristretto intervallo granulometrico.

Tab. 1 – Profondità e distanza dalla costa delle stazioni considerate.

Aree	Numero campioni	Profondità minima (m)	Profondità massima (m)	Distanza massima dalla costa (miglia marine)
A	19	6	350	2,5
B	21	5	137	13
C	24	4	280	4,5
D	5	102	580	1,35

I sedimenti sono stati prelevati con strumentazioni differenti (box-corer, carotiere a gravità o benna Van Veen dotata di sportellino superiore) ma comunque in modo tale da poter ottenere campioni (0-2 cm) il più possibile indisturbati.

I campioni sono stati sottoposti ad analisi granulometrica ed analisi chimica con la determinazione di alcuni metalli in traccia (Hg, Pb, Cd e Cr); mentre, per le aree A e C, sono stati determinati anche gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) ed i policlorobifenili (PCB).

Per l'analisi granulometrica il campione una volta trattato separato in umido su rete da 63 µm è stato analizzato con pile di setacci per la frazione >63 µm, con sedigrafo a raggi X per la frazione inferiore.

Per la determinazione dei metalli in traccia è stato effettuata una mineralizzazione completa utilizzando un forno a microonde con aggiunta di acido nitrico, acido clori drico e acido fluoridrico (in rapporto 3:2:3) in due fasi successive; mentre la determinazione analitica è stata eseguita con Spettrofotometro ad Assorbimento Atomico (AAS) con fornetto di grafite per Cr, Cd e Pb, e con la metodica dei vapori freddi dopo aggiunta di cloruro stannoso per il Hg (Giani *et al.,* 1994). Le percentuali di recupero rispetto a sedimenti certificati variavano tra il 90 ed il 108 % a seconda del metallo considerato.

IPA e PCB sono stati determinati, dopo le specifiche estrazioni (Pellegrini *et al*., 1995), rispettivamente mediante cromatografia liquida (HPLC) con rivelatore a fluorescenza e gascromatografia con rivelatore a cattura di elettroni. II recupero è risultato superiore all'80 % per gli IPA e all'85 % per i PCB.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Una volta determinate le caratteristiche granulometriche dei campioni analizzati (Tabb. 2-5) è stata studiata la distribuzione di ciascun metallo in relazione alla percentuale di pelile nelle diverse aree (Figg. 2-7). Da questo confronto è stato possibile trarre alcune considerazioni relativamente ad ogni area.

Area A

In quest'arca i livelli degli clementi considerati sono più elevati di tutte le altre zone, oltre a mostrare anche un grande intervallo di variabilità (Tabb. 6 e 7). La loro distribuzione rispetto alla frazione pelitica nei sedimenti appare molto dispersa, con valori molto diversi a parità di percentuale di pelite. In particolare si osserva un netto aumento nei valori di concentrazione nei sedimenti con una percentuale di pelite compresa tra il 30% ed il 60 %, che risultano compresi nella fascia batimetrica tra 20 e 50 metri (Fig. 2). Da tale andamento si discosta solo il Cr che mostra invece una maggiore linearità e tendenza alla correlazione con la frazione pelitica (r=0,83); tendenza che potrebbe in parte essere giustificala dalla presenza di questo elemento nella frazione residuale del sedimento associato alla frazione fine.

Questa distribuzione non regolare, oltre agli elevati livelli di concentrazione confermerebbe una contaminazione generalizzata dei sedimenti presenti in questa particolare zona, probabilmente legata all'attività antropica e quindi non riconducibile soltanto al contributo naturale; tale risultalo è in accordo anche con quanto riportalo da

Campi *et al.* (1989) che, nei sedimenti dell'area di Vado Ligure, trovano valori di Hg, Pb e Cd non compatibili con la composizione geochimica delle rocce di provenienza che praticamente ne sono prive. Per il Cr, a differenza degli altri elementi, è ipotizzabile invece un contributo naturale dovuto alla presenza nel bacino di sedimenti provenienti da rocce basiche

Tab. 2 - Composizione granulometrica (%), concentrazione di Cd, Cr, Hg, Pb, IPA (mg/kg p.s.) e PCB (ng/g p.s.) in sedimenti marini superficiali - area A.

Campione	Sabbia	Silt	Argilla	Cd	Cr	Hg	Pb	IPA tot	PCB tot
1	99,4	0,4	0,2	0,02	26	0,087	19	0,021	<0,1
2	98,3	1,7*		0,04	33	0,031	11	1,503	0,3
3	94,3	5,7*		0,07	27	0,038	12	0,022	1,2
4	85,5	14,5*		0,06	41	0,027	16	1,201	n.d.
5	94,6	5,2	0,2	0,04	45	0,033	22	0,084	<0,1
6	97,2	2,4	0,4	0,16	35	0,188	15	3,140	0,7
7	66,9	25,5	7,6	0,18	125	0,114	43	3,633	7,2
8	54,5	36,5	9	0,4	122	0,35	45	0,011	13,9
9	51,8	33,4	14,8	0,3	136	0,728	64	<0,001	12,2
10	57,2	29,7	13,1	0,23	236	0,686	56	2,907	7,4
11	65,6	24	10,4	0,23	100	0,48	49	1,541	5,6
12	68,6	23,3	8,1	0,1	163	0,398	47	1,090	22,0
13	56,3	30,9	12,8	0,17	233	0,416	57	1,662	13,8
14	13,2	55,7	31,1	0,26	447	0,094	48	1,712	5,8
15	40,1	40,9	19	0,02	382	0,592	71	0,005	9,5
16	12,2	48,3	39,5	0,16	268	0,257	40	0,486	3,5
17	2,3	41,5	56,2	0,15	402	0,475	78	3,043	18,8
18	3,4	39,1	57,5	0,17	364	0,47	79	3,024	30,3
19	1	34,6	64,4	0,2	314	0,356	43	0,379	16,4

* pelite = silt + argilla n.d. = non determinato

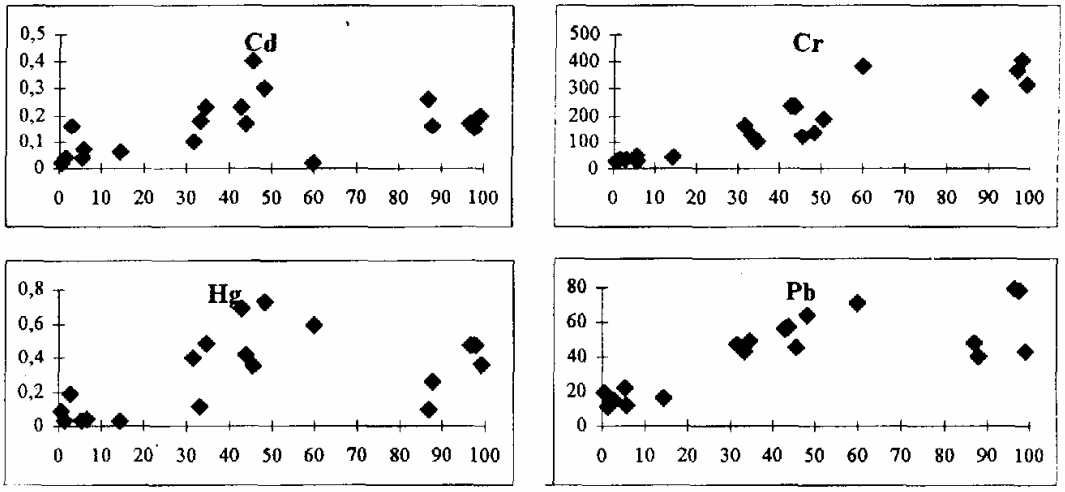


Fig. 2 – Concentrazioni di elementi in tracce (mg/kg p.s.) in relazione alla percentuale di pelite nei sedimenti superficiali dell'area A.

Gli elevati valori di IPA (1 - 3,5 mg/kg p.s.) e PCB (15-25 mg/g p.s.) nell'area A in confronto con altre aree costiere italiane (Ausili *et al.*, 1998), sembrano confermare una contaminazione specifica, così come riportato da Cannarsa *et al.* (1989), per le

attività industriali presenti nell'area di Vado Ligure. Non si osserva alcuna correlazione lineare tra i contaminanti organici e la percentuale di pelite.

Area B

L'area presenta una distribuzione degli elementi considerati meno dispersa rispetto all'area A (Fig. 3) con valori che si mantengono piuttosto bassi fino a contenuto in pelite prossimo al 70-80%; oltre questo limite si riscontra invece un incremento esponenziale di questi valori anche se, a parità di contenuto in pelite, hanno una grande variabilità (Tab. 3).

Tab. 3 - Composizione granulometrica (%) e concentrazione di Cd, Cr, Hg e Pb (mg/kg p.s.) in sedimenti marini superficiali - area B.

Campione	Sabbia	Silt	Argilla	Cr	Cd	Hg	Pb
1	87,0	13,0*		n.d.	0,13	0,07	13
2	86,0	14,0*		115	0,05	0,03	12
3	60,7	39,3*		114	0,05	0,03	14
4	44,1	55,9*		125	0,05	0,03	19
5	30,0	70,0*		175	0,07	0,07	19
6	17,4	82,6*		199	0,13	0,08	25
7	0,4	99,6		266	0,18	0,04	32
8	1,0	99,0		180	0,19	0,11	34
9	14,7	85,3		339	0,38	0,16	37
10	9,1	42,2	48,7	283	0,07	0,14	26
11	0,6	34,4	65,0	313	0,06	0,32	30
12	0,1	30,5	69,4	203	0,05	0,31	37
13	0,0	35,2	64,8	214	0,09	0,17	37
14	0,2	24,8	75,0	283	0,08	0,33	32
15	1,3	38,6	60,1	189	0,04	0,39	33
16	31,9			188	0,05	0,33	37
17	10,8	25,9	63,3	179	0,07	0,3	39
18	11,4	23,0	65,6	150	0,04	0,25	38
19	1,4	27,1	71,5	170	0,03	0,33	33
20	1,1	23,6	75,3	165	0,09	0,22	52

* pelite = silt + argilla n.d. = non determinato

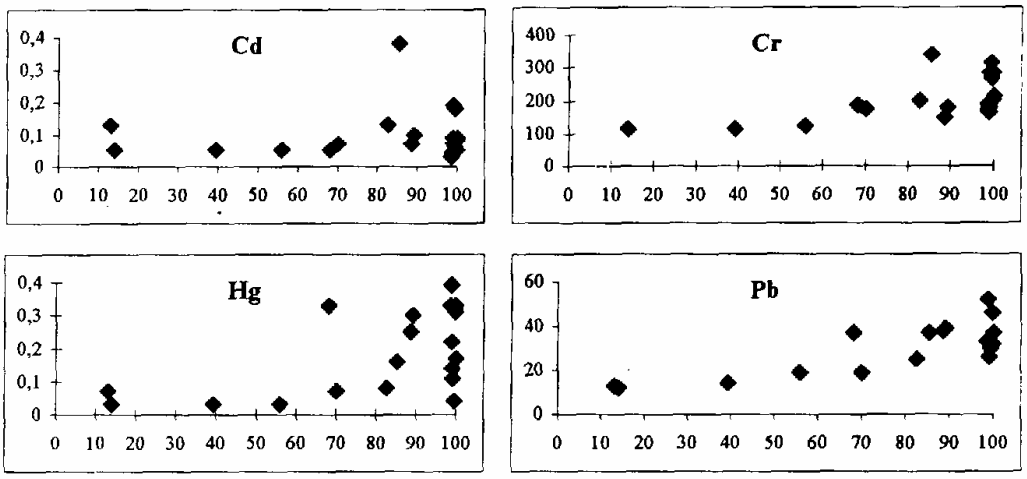


Fig. 3 – Concentrazioni di elementi in tracce (mg/kg p.s.) in relazione alla percentuale di pelite nei sedimenti superficiali dell'area B.

Questa variabilità può essere dovuta in parte al diverso contenuto della frazione argillosa nel sedimento; infatti, come riportato in precedenti studi condotti nella medesima area, è stata osservata una stretta correlazione tra argilla e metalli pesanti, sia nei sedimenti superficiali che profondi (Curzi *et al.,* 1996; Leoni *et al.,* 1995); oppure da un diverso apporto di contaminanti dovuto all'intensa attività antropica svolta nell'area.

Per quanto riguarda il Cr ed il Pb, in accordo con Curzi *et al.* (1996), le concentrazioni indicano la presenza di un arricchimento di tali metalli non naturale, poiché i valori raggiunti non si giustificano con la composizione mineralogica dei sedimenti dell'area. Il Hg presenta valori crescenti da costa verso largo, mentre il Cd, con valori poco elevati, appare uniformemente distribuito su tutta l'area e non sembra risentire delle caratteristiche granulometriche del sedimento.

Area C

Presenta valori di concentrazione degli elementi più bassi rispetto alle altre aree considerate; ciò è più evidente per Hg, Pb e Cr; in particolare si riscontra una variabilità ridotta nei range dei valori osservati. Una maggiore dispersione si osserva invece nei tenori di Cd.

Tab. 4 - Composizione granulometrica (%), concentrazione di Cd, Cr, Hg, Pb, IPA (mg/kg p.s.) e PCB (ng/g p.s.) in sedimenti marini superficiali - area C.

Campione	Sabbia	Silt	Argilla	Cd	Cr	Hg	Pb	IPA tot	PCB tot
1	100	0	0	0,05	11	<0,02	2	<0,001	2,4
2	100	0	0	0,07	10	0,05	4	n.d.	n.d.
3	100	0	0	0,06	12	<0,02	1	n.d.	n.d.
4	100	0	0	0,10	12	<0,02	2	<0,001	1,4
5	100	0	0	0,07	10	0,04	4	n.d.	n.d.
6	100	0	0	0,05	11	<0,02	2	n.d.	n.d.
7	100	0	0	0,03	9	<0,02	1	<0,001	1,6
8	100	0	0	0,06	8	0,04	3	n.d.	n.d.
9	100	0	0	0,06	11	0,04	4	<0,001	<0,1
10	99,5	0,5*		0,05	11	<0,02	2	n.d.	n.d.
11	97,5	2,5*		0,12	12	<0,02	3	0,024	6,7
12	92,7	7,3*		0,16	11	0,03	5	0,144	3,7
13	98,4	1,6*		0,08	13	0,03	3	0,017	3,5
14	98,9	1,1*		0,07	11	0,05	5	n.d.	n.d.
15	72,8	18,9	8,3	0,17	19	0,04	6	0,262	6,9
16	54,9	29,8	15,3	0,21	20	0,06	23	0,082	<0,1
17	17,7	37,3	45	0,27	61	0,11	38	n.d.	n.d.
18	13,1	30	56,9	0,23	89	0,05	17	0,087	1,2
19	46,3	20,5	33,2	0,12	16	0,03	9	0,013	3,3
20	27,6	29,2	43,2	0,14	77	0,03	14	0,055	2,2

* pelite = silt + argilla n.d. = non determinato

Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti sembrano influenzare in buona misura la distribuzione dei metalli pesanti; in particolare si osserva una buona correlazione tra le frazione fine del sedimento ed il Cr (r = 0,80), in misura minore con il Pb ed il Cd (r = 0,70). Questo andamento invece non viene rilevato per i composti organici che presentano valori discretamente più bassi di quelli riscontrati per l'area di Savona, ma con una estrema variabilità rispetto alla frazione fine del sedimento.

Le caratteristiche composizionali e granulometriche dei sedimenti, costituiti principalmente da carbonati e con una discreta componente sabbiosa (Tab. 6), in aggiunta

allo scarso impatto antropico dell'area, possono giustificare i valori di concentrazione degli elementi considerati.

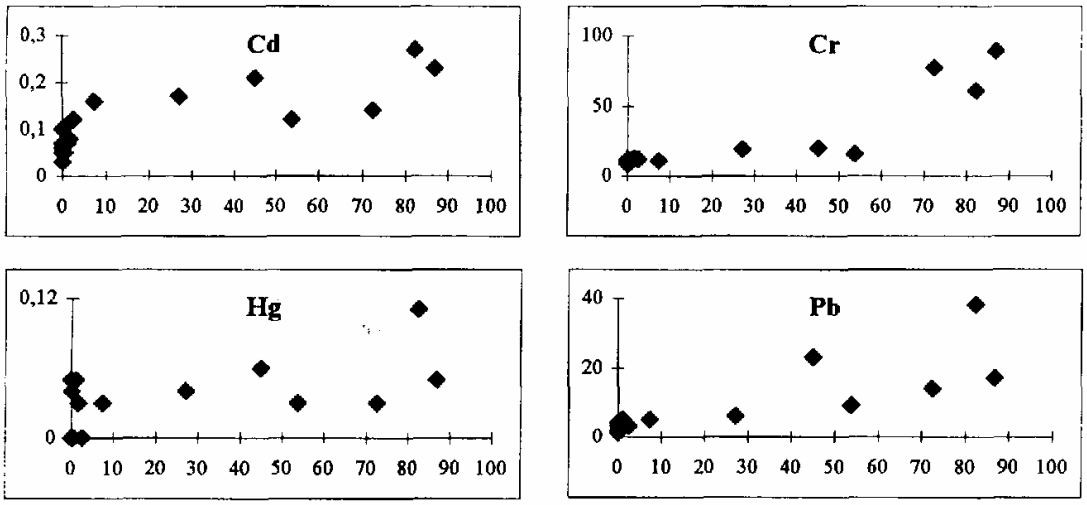


Fig. 4 – Concentrazioni di elementi in tracce (mg/kg p.s.) in relazione alla percentuale di pelite nei sedimenti superficiali dell'area C.

Area D

Nonostante lo scarso numero di campioni esaminati, per una significativa visione della distribuzione dei metalli in rapporto al contenuto di pelite nell'area considerata, si individua ugualmente una buona corrispondenza (r = 0,89 per il Hg; r = 0,86 per il Cr; r =79 per il Pb) (Fig. 5).

Tab. 5 - Composizione granulometrica (%) e concentrazione di Cd, Cr, Hg e Pb (mg/kg p.s.) in sedimenti marini superficiali - area D.

Campione	Sabbia	Pelite	Cd	Cr	Hg	Pb
1	60,1	39,9	0,13	42	0,31	27
2	86	14	0,1	26	0,12	18
3	35,5	64,5	0,23	59	0,49	29
4	58,7	41,3	0,15	49	0,25	24
5	95,6	4,4	0,18	33	0,15	21

Nonostante i dati relativi ai tenori massimi degli elementi in tracce nei sedimenti superficiali risultino in accordo con i valori medi rilevati per il Mediterraneo (AA. VV., 1995), ad eccezione del Cr, i valori di concentrazione riscontrati per Hg, Cd e Pb nelle aree studiate non sono giustificati dalla natura dei sedimenti. Ciò è confermato anche da precedenti studi (AA. VV., 1995) per i quali valori di concentrazione normalizzati rispetto al ferro, dimostrerebbero un arricchimento di questi elementi non dovuto a fenomeni naturali.

Dall'analisi generale dei risultati ottenuti e sintetizzati nelle tabelle 6 e 7 si evidenzia comunque una non elevata concentrazione degli elementi analizzati nei sedimenti superficiali delle aree B, C e D, rispetto ai valori medi "naturali" riportati in letteratura per il Mediterraneo (Whitehead *et al.,* 1985); nell'area A nella quale i valori medi di concentrazione risultano comunque più elevati.

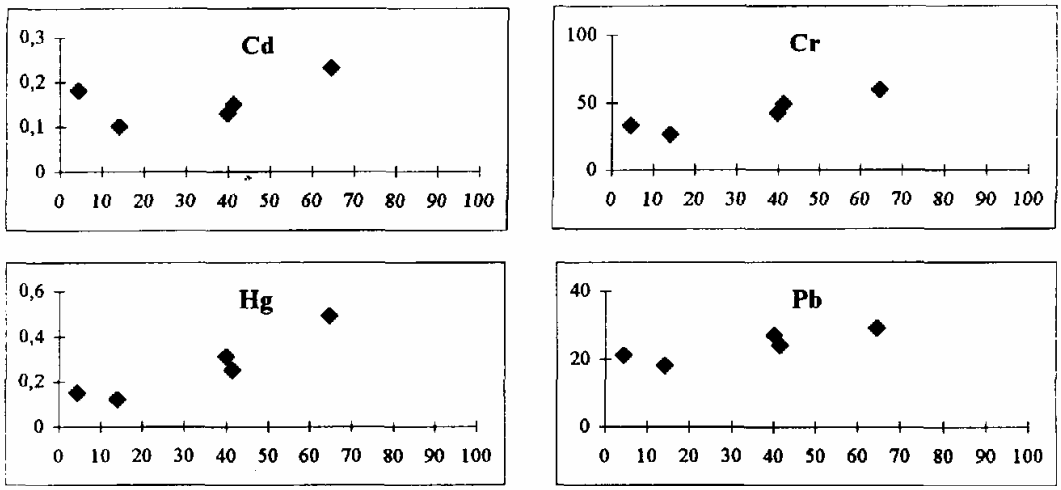


Fig. 5 – Concentrazioni di elementi in tracce (mg/kg p.s.) in relazione alla percentuale di pelite nei sedimenti superficiali dell'area D.

Tab. 6 – Valori medi e range di concentrazione (mg/kg p.s.) dei metalli nelle aree considerate e contenuto di pelite (%)

Aree indagate	Pelite media ± D.S. (intervallo)	Hg media ± D.S. (intervallo)	Pb media ± D.S. (intervallo)	Cd media ± D.S. (intervallo)	Cr media ± D.S. (intervallo)
Area A	44,1 ± 35,2 (0,6-99)	0,31 ± 0,23 (0,03-0,73)	43 ± 22 (11-79)	0,16 ± 0,10 (0,02-0,3)	184 ± 143 (26-447)
Area B	66,7 ± 39,8 (13-100)	0,19 ± 0,12 (0,03-0,39)	29,9 ± 10,3 (12-52)	0,09 ± 0,08 (0,03-0,38)	203 ± 65 (114-339)
Area C	19 ± 30,8 (0-86,9)	0,05 ± 0,02 (<0,02-0,11)	7 ± 9 (1-38)	0,11 ± 0,07 (0,03-0,27)	22 ± 24 (8-89)
Area D	32,8 ± 23,9 (4,4-64,5)	0,26 ± 0,15 (0,12-0,49)	24 ± 4 (18-29)	0,16 ± 0,05 (0,10-0,23)	42 ± 13 (26-59)

Tab. 7 – Valori medi e range di concentrazione di IPA (mg/kg p.s.) e PCB (ng/g p.s.) nelle aree A e C e contenuto di pelite (%)

Aree indagate	Pelite media ± D.S. (intervallo)	IPA tot media ± D.S. (intervallo)	PCB media ± D.S. (intervallo)
Area A	44,1 ± 35,1 (0,58-99,02)	1,415 ± 1,266 (<0,01-3,633)	10 ± 8 (<0,1-30)
Area C	19 ± 30,8 (0-86,9)	0,08 ± 0,08 (<0,01-0,262)	3 ± 2 (<0,1-7)

Da un'analisi degli intervalli di concentrazione si possono fare alcune considerazioni sul singolo metallo.

I livelli del Cr nelle aree A (26-447 mg/kg p.s.) e B (114-339 mg/kg p.s.) manifestano una forte oscillazione (seppure a partire da valori minimi diversi), mentre nelle rimanenti aree le variazioni sono più limitate ed i valori generalmente si mantengono più bassi (C: 8-99 mg/kg p.s.; D: 26-59 mg/kg p.s.). Anche il Pb manifesta una oscillazione maggiore nelle aree A (11-79 mg/kg p.s.) e B (12-52 mg/kg p.s.), mentre appare più omogeneo e con valori più bassi nelle aree C (2-34 mg/kg p.s.) e D (18-29 mg/kg p.s.). I valori del Cd sono generalmente uniformi (0,02-0,38 mg/kg p.s.); il Hg, invece, presenta la maggiore variabilità, soprattutto per i valori massimi, ancora nell'area A (0,03-0,73 mg/kg p.s.) ed in misura minore nelle altre aree.

Dall'osservazione degli intervalli di concentrazione si possono evidenziare valori particolarmente bassi per i metalli nell'area C, in particolare per Pb e Cr, probabilmente dovuti alla natura carbonatica dei sedimenti. Altro dato da evidenziare è il più alto valore del limite inferiore di concentrazione per Hg, Pb e Cd nell'area D, area ritenuta non interessata da apporti antropici diretti. Un andamento analogo è evidenziabile anche per il Cr nell'area B.

I PCB, composti di origine sintetica caratterizzati da una elevata persistenza, sono ormai distribuiti su scala globale; confrontando i valori delle due aree studiate (Tab. 7), le concentrazioni determinate nell'area C si possono considerare di background per il Mar Mediterraneo (UNEP/FAO/WHO/IAEA, 1989), mentre per quanto riguarda l'area A, questa probabilmente risente ancora dell'influenza di una passata attività industriale (Cannarsaefa/., 1989).

Gli IPA, composti che si ritrovano nei sedimenti sia naturalmente che come conseguenza di attività antropiche, quando sono presenti a basse concentrazioni, come nel caso dell'area C (Tab. 7), non è possibile stabilire la loro origine; nell'area A, al contrario, si raggiungono concentrazioni piuttosto elevate rispetto ai valori medi di background per il Mar Mediterraneo (UNEP/FAO/WHO/IAEA, 1989), probabilmente a causa della presenza lungo le coste di attività legate alla lavorazione del petrolio.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per quanto riguarda i metalli, dai risultati ottenuti il dato più significativo sembra essere il diverso intervallo di valori che i singoli contaminanti possono assumere a secondo dell'area considerata. Si può comunque evidenziare una tendenza all'incremento dei valori di concentrazione all'aumentare della componente pelitica; questo può essere dovuto sia a specifiche fonti di inquinamento che alla diversa composizione del sedimento, caratteristico per ogni area. Per quanto riguarda i composti organici, invece, non si osserva alcuna relazione significativa con le caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Da tutto ciò si evince come può risultare difficile sul nostro territorio stabilire "a priori" dei valori di concentrazione per i contaminanti che possano essere considerati di riferimento per tutto il territorio nazionale relativamente alle attività connesse alla movimentazione dei fondali marini.

Sulla base di quanto discusso, per l'ottenimento di una corretta procedura di valutazione e gestione dei sedimenti (come, per esempio, nel caso di compatibilità tra sedimenti portuali dragati ed aree marine di discarica), emerge la necessità di caratterizzare i sedimenti da un punto di vista granulometrico, mineralogico e chimico considerando le diverse tipologie di ambiente marino.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Sig.na Giuseppina Ciuffa per il supporto nella determinazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici e il Dr. Nicola Bigongiari per la determinazione del mercurio totale.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. 1995. Studio sulle caratteristiche granulometriche, la distribuzione dei metalli in traccia e l'attività batterica nei sedimenti dei fondali della riserva naturale marina Isola di Ustica. Relazione tecnica dell'ICRAM, 125 pp.

Anselmi B., Benvegnù F., Brondi A. & Ferretti O. 1980. Contributo allo studio dell'influenza della geologia e della geochimica dei bacini emersi sulla composizione dei sedimenti marini. Atti del 3° Congresso Nazionale della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia: 279-293.

Ausili A., Pellegrini D., Onorati F. & De Ranieri S. 1998. Valutazione della qualità di sedimenti del porto di Viareggio da sottoporre ad escavo. *Acqua Aria:* 1, 67-71.

Brondi A. 1978. Importanza degli aspetti sedimentologici e geochimici nello studio dell'inquinamento marino. Generalità. In: Studi sui parametri geologici rilevanti ai fini della determinazione della contaminazione ambientale (Anselmi B., Benvegnù F., Brondi A. & Ferretti O. eds), CNEN, RT/PROT (79), 14.

Campi F., Niccolai I., lucci S. & Sgorbini S. 1989. Dispersione e geochimica dei sedimenti superficiali nel Mar Ligure (Varazze - Capo Noli). In: Studi ambientali dell'area costiera di Vado Ligure (Damiani V., Ferretti O. & Tucci S. eds.), ENEA: 61-84.

Cannarsa S., Bruner T., Mangani F. & Crescentini G. 1989. Microinquinanti organici e loro distribuzione nell'areale marino di Vado Ligure. In: Studi ambientali dell'area costiera di Vado Ligure (Damiani V., Ferretti O. & Tucci S. eds.), ENEA: 51-64.

Cinque A., Civetta L., Orsi G. & Peccerillo A. 1992. Geology and geochemistry of the island of Ustica (Southern Tyrrhenian Sea). *Rend. Soc. It. Min. Petr.,* vol. spec.: 987-997.

Curzi P.V., Gabellini M., Lanti E., Negri A., Pellegrini D. & Romano E. 1996. Texture, mineralogy and heavy metals in recent sediments in northern tyrrhenian continental shelf: distributions and different source. 7th Symposium on the Interactions Between Sediments and Wate, Stresa, September 22-25, 1996.

Fanucci F. 1981. Bassin sedimentaires de la marge continentale ligure: caractères, strutture et evolution. In: Sedimentary basins of Mediterranean margins (Wezel F.C. ed.): 83-99.

Fanucci F., Ferretti O., Firpo M., Piccazzo M. & Davide S. 1996. Morfologia e struttura della piattaforma continentale compresa tra Vado Ligure e Savona e suoi rapporti con la fascia litorale. Atti dell' 11° Congresso Nazionale della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, Sorrento, 26-28 Ottobre 1994: 667-677.

Giani M., Gabelline M., Pellegrini D., Costantini S., Beccaloni E. & Giordano R. 1994. Concentration and partitioning of Cr, Hg and Pb in sediments of dredge and disposal sites of the northern Adriatic sea. *The Science of the Total Environment,* 158: 97-112.

Immordino F. & Setti M. 1989. Caratterizzazione granulometrica e mineralogica dei sedimenti superficiali marini dell'alto Tirreno tra La Spezia e Livorno. In: Studi ambientali dell'area costiera di Vado Ligure (Damiani V., Ferretti O. & Tucci S. eds.), ENEA: 51-64.

Leoni L., Sartori F., Batistoni A. & Cortopassi P. 1992. Contributo allo studio del trasporto e della distribuzione dei sedimenti recenti nell'alto Tirreno-Mar Ligure (Bacino compreso tra La Spezia e Livorno): dati granulometrici, mineralogici e chimici. *Atti Soc. Tose. Sci. Nat.,* Mem., Serie A., 99: 109-151.

Leoni L., Sartori F. & Niccolai I. 1995. Metalli pesanti nei sedimenti attuali della piattaforma costiera toscana. *Atti Soc. Tos. Se. Nat.,* Mem., Serie A, Suppl. vol. CII: 23-60.

Lucido M. 1992. Geomorfologia della piattaforma continentale tra T.re del Pozzillo e T.re Mondello (Sicilia nord-occidentale). // *Naturalista Siciliano,* S. PV, Vol. XVI (11-2): 91-107.

Pellegrini D., Ausili A., Gabellini M., Morlino R. & Mellara F. 1996. Metalli pesanti e idrocarburi policiclici aromatici nei sedimenti del porto di Livorno da sottoporre ad escavo. Atti dell'11° Congresso Nazionale della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, Sorrento, 26-28 Ottobre 1994: 757-767.

Pellegrini D., Gabellini M., Giani M. & Barbera C. 1992. L'impatto ambientale nelle attività di dragaggio portuale. *V.I.A.,* 21: 37-46.

Pellegrini D., Giani M., Mellara F. & Gabellini M. 1995. Trace metals distribution in a dredge material disposal site of the northern Tyrrhenian sea, *Rapp. Comm. int. Mer Medit,* 34: 142.

Setti M., Ferretti O. & Immordino F. 1996. Mineralogia e tessitura dei sedimenti in funzione dei caratteri geomorfologici nella piattaforma continentale della Baia di Carini (Sicilia nord-occidentale). Atti dell'11° Congresso Nazionale della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, Sorrento, 26-28 Ottobre 1994: 523-539.

Tucci S., Campi F., Setti M. & Tortelli M. 1989. Caratteri granulometrici e mineralogici dei sedimenti di piattaforma (Varazze-Capo Noli). In: Studi ambientali dell'area costiera di Vado Ligure (Damiani V., Ferretti O. & Tucci S. eds.), ENEA: 39-59.

UNEP/FAO/WHO/IAEA. 1989. Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organohalogen compounds. *MAP Technical Reports,* Series 39. UNEP, Athens.

Whitehead N.B., Oregioni B. & Fukai R. 1985. Background levels of trace metals in mediterranean sediments. In: VII Journées Etud. Pollutions, C.I.E.S.M., Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Mediterranee, Monaco: 233-240.

Atti del 12° Congresso dell'Associazione italiana di Oceanologia e Limnologia (Isola di Vulcano, 18-21 Settembre 1996). Vol II - Genova: A.I.O.L., 1998
Piccazzo M. (ed.): 487 - 497.

PRIMI DATI SULLA CARATTERIZZAZIONE MICROBIOLOGICA DELLE ACQUE DELL'ADRIATICO SETTENTRIONALE

Renata ZACCONE, Gabriella CARUSO, Cristina CALI', Rita SCARFO'

Istituto Sperimentale Talassografico, C. N. R. - Messina

ABSTRACT

In the general framework of the Prisma 1 project, aimed at studying the biogeochemical cycles, the distribution of heterotrophic bacteria at three sampling stations located in the North Adriatic Sea was analysed during two different seasons (spring and summer 1995). Biochemical assays using 7 fluorogenic substrates were carried out on 794 strains isolated in order to determine the physiological potentiality of the bacterial populations to hydrolyse organic compounds.

The highest concentrations of heterotrophic bacteria occurred in the surface layers at inshore stations, more influenced by the allocthonous inputs of the Po river. Viable counts revealed the presence of high percentages of active metabolising bacteria at the station located in front of the delta.

During the spring season, at the off-shore station the lowest bacterial abundances were found together with a higher level of potential degradative capability. In spite of the limited increase of densities, in summer months a significative increase of enzymatic activities was recorded at all the stations.

Qualitative study of microflora composition showed differences in relation to temperature and water masses: in April a predominance of Gram-negative strains belonging to *Pseudomonas* and *Flavobacterium* genera was found in coastal surface waters, whereas *Vibrio* strains were prevalent in the deepest layers at the off-shore site. The composition of microflora, characterised by a greater diversification in the warm period, strongly influenced the metabolic profiles of the strains isolated.

Proteic, lipidic and phosphate substrates were preferentially hydrolysed by heterotrophic strains, whereas a lower percentage of bacteria metabolises polysaccharide compounds.

The high levels of enzymatic potentiality recorded in the studied area expressed the high degree of nutritional versatility, caused by shifts in species, which allows the bacterial community to colonise sites with various ecological characteristics.

1. INTRODUZIONE

Numerosi studi condotti nel bacino settentrionale del Mare Adriatico, caratterizzato da un largo sistema frontale e dall'apporto di fiumi, hanno messo in luce il particolare regime idrologico con stratificazione termica nel periodo estivo e rimescolamento nelle altre stagioni, l'input di nutrienti di origine fluviale, le periodiche crisi distrofiche e l'insorgenza di fenomeni mucillaginosi (Franco & Michelato, 1992; Artegiani *et al.,* 1996).

L'importanza della componente microbica sui fenomeni di aggregazione e di comparsa di neve marina nel mare Adriatico è stata rivalutata nell'ultimo decennio, sin da quando è stata evidenziata la colonizzazione microbica degli aggregati mucillaginosi (Herndl & Peduzzi, 1988; Fonda Umani *et al.,* 1989). Poco si conosce invece sulla struttura delle comunità batteriche e sulla loro attività nei cicli della sostanza organica.

Il batterioplancton in qualità di principale consumatore di sostanza organica disciolta e particellata, risponde prontamente alle variazioni del substrato organico aumentando l'attività idrolitica, con rilascio di monomeri semplici disponibili per l'utilizzo da parte delle popolazioni planctoniche. Come altri parametri funzionali l'attività microbica può essere inibita o aumentata dai cambiamenti fisici, chimici, variazioni biologiche o input di materiale alloctono.

Diversi metodi sono comunemente usati per quantificare la carica batterica nell'ambiente marino. Il conteggio microscopico diretto mediante epifluorescenza può fornire una sovrastima della densità batterica e delle cellule metabolicamente attive per la presenza di "ghosts" (Zweifel & Hagstrom, 1995) sebbene sembra che il 40-90% del conteggio totale comprenda microorganismi attivi (Fuhrman & Azam, 1982). D'altra parte il conteggio in CFU (unità formanti colonia) rappresenta meno dell'1% del conteggio totale in acque pelagiche (Bianchi & Giuliano, 1996). I metodi colturali forniscono ancora oggi alcune informazioni non rilevabili con altri metodi; la crescita su terreno indica quella frazione di batteri capaci di adattarsi ad alte concentrazioni di nutrienti e dotata di elevate potenzialità metaboliche.

Nell'ambito del programma interdisciplinare Prisma 1, sottoprogetto Cicli biogeochimici, è stato condotto uno studio microbiologico allo scopo di approfondire le complesse interazioni esistenti fra comunità microbiche e ciclizzazione dei nutrienti nel bacino settentrionale del mar Adriatico. In particolare l'indagine, articolata in 4 campagne oceanografiche stagionali, è stata finalizzata alla valutazione delle densità microbiche e alla definizione dei principali gruppi fisiologici di batteri coinvolti nella decomposizione della sostanza organica. Vengono qui riportati i dati preliminari ottenuti in 2 successive condizioni ecologiche, nei mesi di aprile e luglio 1995.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Campionamento

Lo studio è stato effettuato su due stazioni costiere, situate in prossimità delle foci dei fiumi Po (SI), Adige e Brenta (S2), rappresentative di ambienti costieri, e da una stazione di largo S3, non direttamente influenzata dai fiumi (Fig. 1).

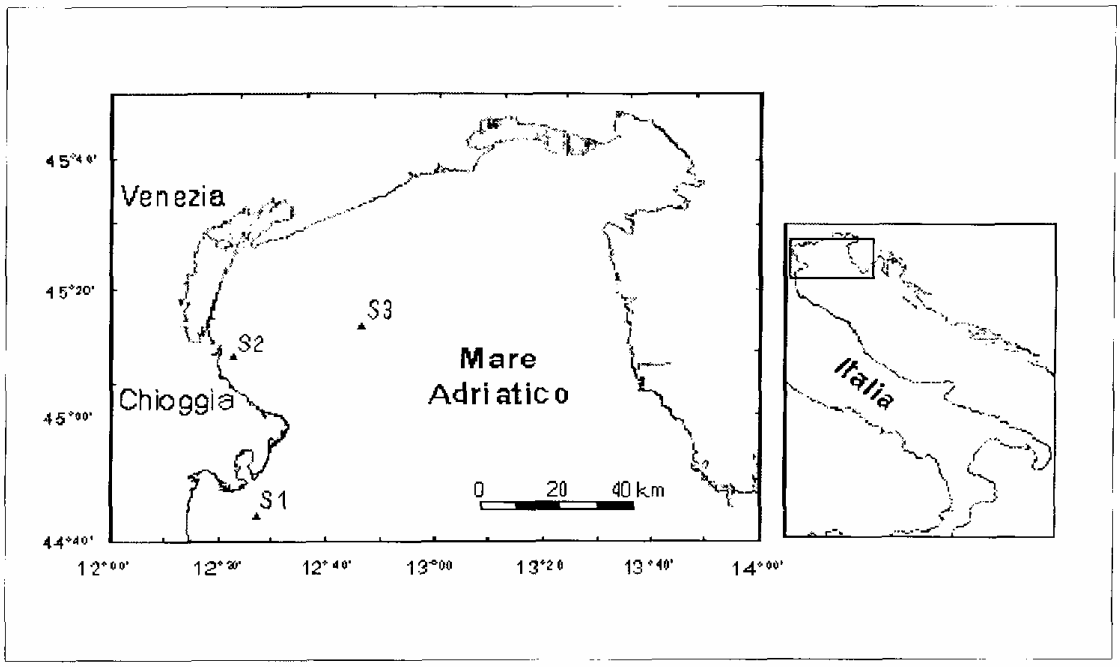


Fig. 1 - Stazioni di campionamento

In accordo alle altre U.O. i campioni di ciascuna stazione sono stati prelevati ad intervalli di 12 ore (ore 10 e ore 22) per due giorni successivi a 5 differenti quote nelle stazioni costiere e a 6 quote nella S3 (Giacobbe, 1996).

Le stazioni S1 e S2 risentono del processo di diluizione per l'apporto di acque fluviali specialmente in superficie. Per quanto riguarda la temperatura la S1 la S2 presentano una omogenizzazione nella stagione fredda e stratificazione termica a luglio. La S3 è più stabile e presenta termoclino, aloclino e picnoclino nella stagione estiva. (Rabitti & Bianchi, 1996)

In tabella 1 sono riportate le caratteristiche fisico chimiche delle masse d'acqua.

2.2. Analisi batteriologiche

Secondo il protocollo sperimentale, è stata effettuata una valutazione della componente eterotrofa vitale presente nelle differenti masse d'acqua attraverso semina su terreno Marine Agar 2216 (Difco) incubato a 20°C per 7 giorni. Dalle diverse masse d'acqua, identificate in base ad un diagramma T/S, sono state isolate "at random" circa 20 colonie per un totale di 794 ceppi.

I ceppi sono stati classificati sulla base delle caratteristiche morfologiche e biochimiche, in grossi gruppi tassonomici, indicati con il nome della famiglia o del genere più rappresentativo. I principali test utilizzati sono: colorazione di Gram, mobilità, citocromo-ossidasi, fermentazione del glucosio, produzione di pigmento e di spore.

Tab. 1 - Valori medi di temperatura e salinità delle masse d'acqua

APRILE

		Stazione 1		Stazione 2		Stazione 3	
		T°C	S	T°C	S	T°C	S
Acque superficiali	ore 10	11.8	28.78	11.6	28.66	12.3	35.33
	ore 22	11.6	32.98	11.9	30.41	12.6	33.76
Acque intermedie	ore 10					11.6	36.82
	ore 22					11.4	36.78
Acque profonde	ore 10	10.8	36.41	10.1	36.28	10.4	37.37
	ore 22	10.5	36.21	10.0	36.26	10.3	37.41

LUGLIO

		Stazione 1		Stazione 2		Stazione 3	
		T°C	S	T°C	S	T°C	S
Acque superficiali	ore 10	25.4	29.27	22.6	20.78	21.9	34.96
	ore 22	25.8	29.83	23.9	26.66	22.2	34.58
Acque intermedie	ore 10	21.3	35.05	21.2	34.52	18.5	35.50
	ore 22	21.8	34.51	20.7	34.85	17.8	36.03
Acque profonde	ore 10	16.5	36.89	17.7	36.33	13.1	37.88
	ore 22	17.4	36.58	17.7	36.24	12.7	37.78

Per valutare la produzione di esoenzimi, è stata saggiata la capacità di idrolizzare 7 substrati fluorogenici (a- e (3-glucopyranoside, N-acetyl-β-glucosaminide, butyrate, phosphate, heptanoate, coniugati con methylumbelliferone (MUF) e L-leucine, coniugata con methylcoumarine, (MCA). La tecnica (Fig. 2) permette di evidenziare l'idrolisi del substrato e la liberazione del composto fluorescente MUF o MCA, direttamente su piastra, effettuando 7 repliche delle colonie, una per ogni enzima, e ponendo su di esse un disco di carta da filtro imbevuto della soluzione di substrato (finale 0.1 M). Dopo tre minuti le piastre sono osservate sotto la lampada di Wood (Kim & Hoppe, 1986; O'Brien & Colwell, 1987).

Dai risultati ottenuti è stato calcolato l'indice di idrolisi per ogni singolo substrato e l'indice medio di attività esoenzimatica (EAI), in modo da ottenere una stima delle potenzialità cataboliche della flora batterica all'interno della massa d'acqua (Hauxhurst *et al,* 1981 ; Van Wambeke & Bianchi, 1990).

3. RISULTATI

Le densità in batteri eterotrofi registrate nelle 3 stazioni in base ad una sequenza temporale prestabilita (ore 10 e ore 22 di due giorni successivi) hanno presentato una distribuzione variabile in relazione alla profondità e alla distanza dalla costa, con cari che più elevate in corrispondenza degli strati superficiali e delle stazioni maggiormente

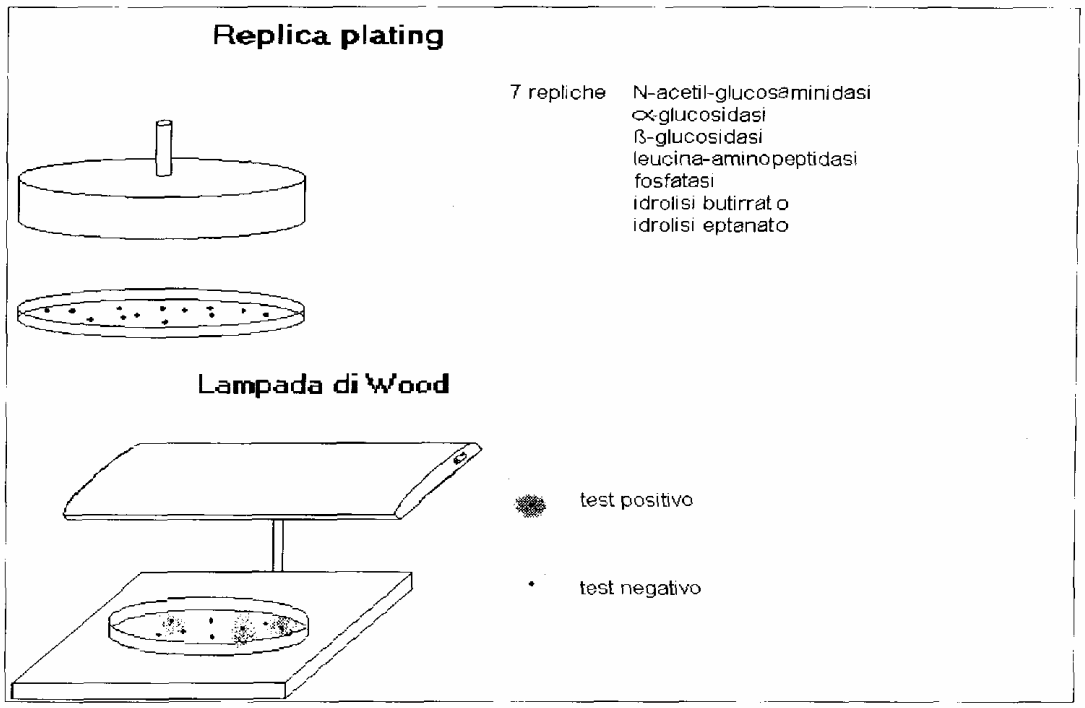


Fig. 2 - Schema del metodo adoperato per il saggio enzimatico

influenzate dai fiumi (Fig. 3). Sia in aprile che in luglio la concentrazione batterica è correlata negativamente con la salinità (r = -0.76, -0.87), e positivamente con la temperatura delle acque nel mese di luglio (r = 0.73).

La frazione di batteri vitali sul conteggio totale in epifluorescenza, nelle zone costiere è molto alta e raggiunge i valori massimi in superficie (10 - 22%); essa diminuisce nella stazione di largo ma mantiene valori più elevati rispetto a quanto riportato da Bianchi & Giuliano (1996) in acque pelagiche. Ciò significa che i batteri eterotrofi sono ben adattati a condizioni di elevato trofismo e quindi si adattano bene a crescere nei terreni di coltura.

Per quanto riguarda la potenzialità catabolica, l'EAI non è correlato con la temperatura e la salinità delle masse d'acqua, e non dipende dalla quantità dei batteri eterotrofi presenti. Nella S3 sono state riscontate le minime densità di batteri eterotrofi, ma l'attività potenziale della flora mostra i valori più elevati.

L'attività enzimatica (BAI) nella campagna estiva subisce un notevole incremento senza grosse modificazioni della densità dei batteri eterotrofi (Fig. 3).

Sono state osservate, particolarmente in aprile, variazioni giornaliere dell' EAI tra i campioni prelevati alle ore 10 e ore 22. Alle ore 10 sembra che l'attività aumenti verso il fondo, viceversa alle ore 22 l'indice medio di attività è maggiore in superficie.

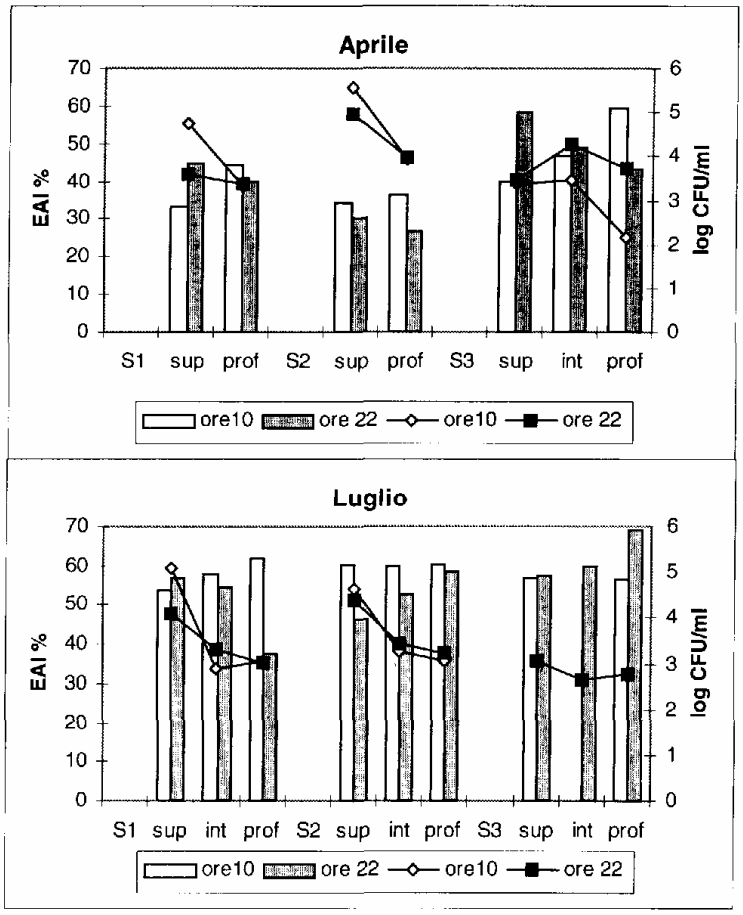


Fig. 3 - Densità in batteri eterotrofi e indice medio di attività esoenzimatica.

In figura 4 vengono mostrati i risultati relativi alle caratteristiche fisiologiche ed enzimatiche dei ceppi isolati. In generale le principali potenzialità metaboliche sono dirette nei confronti dei substrati proteici, lipidici e dei fosfati organici. La stazione S2 mostra i valori più bassi di attività.

Nel mese di luglio, quando il fitoplancton raggiunge la massima abbondanza, è evidente l'aumento delle attività enzimatiche in tutte le stazioni. Le attività metaboliche dei ceppi isolati nei confronti dei polisaccaridi mostrano un comportamento diverso, infatti i ceppi che possiedono l'enzima α- e β- glucosidasi aumentano durante l'estate solo nella S2; nelle altre due stazioni l' α- glucosidasi è presente in maggiore percentuale in aprile.

In aprile si osserva nella stazione S3 la maggior percentuale di batteri glucosiofermentanti e chitinolitici, ascrivibili al genere *Vibrio.*

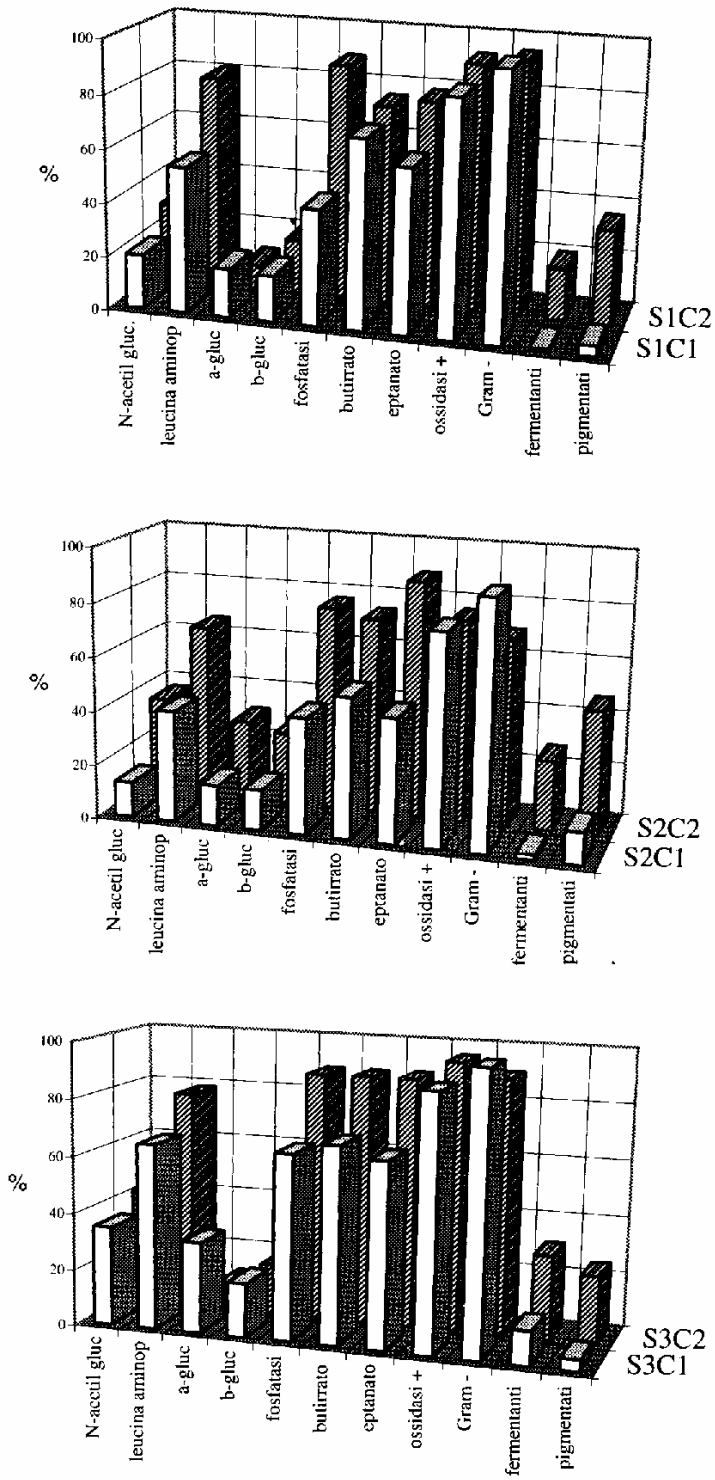


Fig. 4 - Caratteristiche fisiologiche dei ceppi isolati: C1 = aprile, C2 = luglio.

L'analisi qualitativa ha permesso di evidenziare la predominanza dei generi *Pseudomonas, Flavobacterium e Vibrio,* variamente rappresentati nelle due campagne di prelievo nelle stazioni analizzate in relazione alle masse d'acqua (Fig. 5).

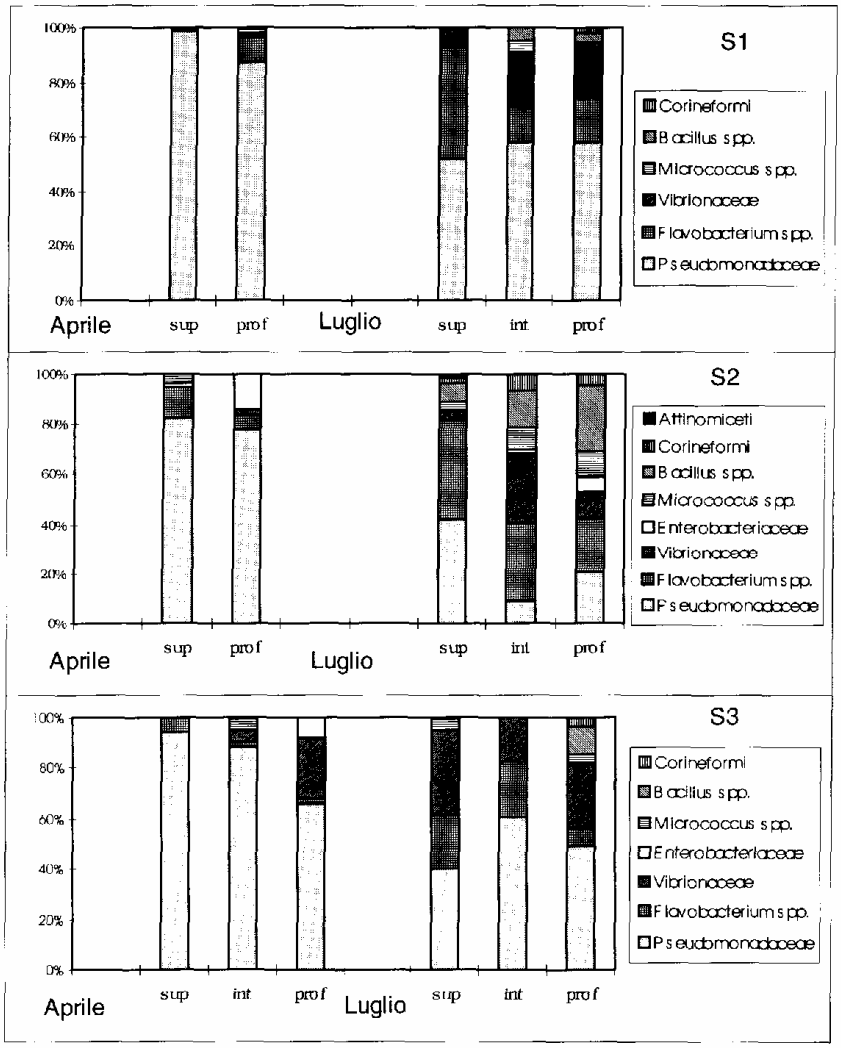


Fig. 5 - Principali gruppi di batteri eterotrofi isolati nelle diverse stazioni.

Durante il mese di aprile le specie batteriche sono rappresentate per la maggior parte da *Pseudomonadaceae* e da batteri pigmentali appartenenti al genere *Flavobacterium.* Nella stazione 3 sono stati isolati anche i vibrioni in acque profonde, i quali nella stagione estiva aumentano anche nelle altre stazioni. Durante l'estate la composizione della flora batterica mostra un maggior grado di diversificazione, oltre ai vibrioni

aumenta anche la percentuale dei batteri pigmentali appartenenti ai generi *Flavobacterium- Cytophaga* e i batteri gram-positivi in particolar modo nella S2.

I diversi gruppi batterici isolati presentano una potenzialità metabolica varia, come risulta dalle diverse capacità enzimatiche riscontrate; ad esempio, le *Pseudomonadaceae* hanno maggiore attività proteolitica, fosfatasica, lipolitica, mentre le *Vibrionaceae* sono provviste anche di attività chitinolitica e glicolitica. I batteri gram-positivi mostrano in buona percentuale attività glucosidasica, ciò determina l'incremento di tale attività nella S2 (Figg. 4 e 5).

4. DISCUSSIONE

II presente studio dimostra come la potenzialità metabolica della flora microbica non dipenda dalla quantità dei batteri presenti nelle masse d'acqua. Le densità degli eterotrofi sono influenzate dagli apporti fluviali, come evidenziato dalla correlazione inversa con la salinità e dal maggior rapporto di batteri vitali sul totale nelle stazioni costiere e in superficie.

Le tecniche microbiologiche utilizzate comportano dì per sé una selezione quantitativa (diluizioni) e qualitativa (capacità di crescita nel terreno di coltura) delle popolazioni naturali; esse permettono di valutare l'attività potenziale che i diversi gruppi fisiologici possono manifestare in risposta al tipo di sostanza organica presente nell'ambiente. Poiché tutti i ceppi sono coltivati nelle stesse condizioni, in un mezzo "ricco" il cambiamento dello spettro di enzimi idrolitici tra le stagioni e tra le stazioni può essere causato dalla successione di differenti specie. Martinez *et al*. (1996) riportano che esistono cambiamenti spaziali e temporali giornalieri nell'insieme delle attività e nel profilo enzimatico individuale. Così che cambiamenti nella specie dominante possono provocare cambiamenti nella utilizzazione di polimeri organici.

Van Wambeke & Bianchi (1990) durante le fasi esponenziali di crescita del fitoplancton osservano i massimi di attività esoenzimatica potenziale, che diminuisce inaspettatamente durante la fase stazionaria e di decomposizione. Nei nostri campioni circa il 60 - 80% della popolazione studiata, nei mesi estivi (quando era presente il massimo sviluppo del fitoplancton), era dotato di attività proteasica , fosfatasica e lipasica.

Da una precedente stima condotta "in situ" sugli stessi campioni era stato osservato un raddoppiamento della Vmax di idrolisi del substrato leucina-MCA nel mese di luglio nello strato superficiale ed una diminuzione andando dalle stazioni più costiere verso il largo (Zaccone & Caruso, 1996). L'attività proteasica, molto diffusa nell'ambiente marino, è coinvolta nella degradazione di particellato costituito da organismi vitali o no, pellets fecali ecc. I batteri associati agli aggregati esibiscono tassi di attività più alti di un ordine di grandezza di quelli liberi (Karner & Herndl, 1992; Smit *et al*., 1992).

Nei mesi estivi anche l'attività fosfatasica assume un significato particolare: i batteri infatti possono riciclare velocemente i fosfati organici in ambienti come l'Adriatico Settentrionale che presenta ben note limitazioni di fosforo inorganico (Thingstad & Rassoulzadegan, 1995). E' stato ipotizzato che in tali condizioni, il fitoplancton rilasci alte quantità polimeri extracellulari ma che i polisaccaridi non siano

sufficientemente metabolizzati, dati i bassi livelli di α- e β- glucosidasi dei batteri (Obernosterer & Herndl, 1995). In tal modo una gran parte di composti organici refrattari si accumula nella colonna d'acqua e può coagulare sotto forma di mucillagine. Recentemente Azam (1997) ipotizza una più efficiente rimineralizzazione del fosforo da parte dei batteri, in preferenza del carbonio, che porta ad una lenta degradazione di composti organici in presenza di alti tassi di produzione primaria.

I nostri risultati, ottenuti dallo studio "in vitro" dei ceppi isolati, confermano queste ipotesi, poiché solo il 20% della popolazione studiata possiede attività a- e b-glucosidasica, mentre gli altri polimeri organici sono idrolizzati da elevate frazioni di batteri eterotrofi.

Gli alti livelli di potenzialità enzimatica registrati in Adriatico esprimono un grado elevato di versatilità nutrizionale, dipendente dalla successione delle specie, che permette alla comunità batterica di colonizzare siti dalle differenti caratteristiche ecologiche.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Dott. Sandro Rabitti per aver fornito i dati di temperatura e salinità.

Questo studio è stato realizzato con i fondi del MURST, Progetto PRISMA 1, sottoprogetto Cicli Biogeochimici.

BIBLIOGRAFIA

Artegiani A., Bregant D., Paschini E., Pinardi N., Raicich F. & Russo A. 1996. The Adriatic Sea general circulation. Part II: baroclinic circulation structure. *J. Phys. Oceanogr*. in press.

Azam F. 1997. Possible cause of massive mucilage production in the northern Adriatic Sea: a novel hypothesis. I: Physical and biogeochemical processes of the Adriatic Sea: eutrophic limits of the northern Adriatic. In: The Adriatic Sea. (Nolan C. ed) European Communities Ecosystems Research Reports Series, Brussels (in press).

Bianchi A. & Giuliano L. 1996. Enumeration of viable bacteria in the marine pelagic environment. *Appl. Environ. Microbiol*. 62: 174-177.

Fonda-Umani S., Ghirardelli E. & Specchi M. 1989. Gli episodi di mare sporco nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione Generale dell'Ambiente, Trieste.

Franco P. & Michelato A. 1992. Northern Adriatic Sea: oceanography of the basin proper and of the western coastal zone. In: Marine coastal eutrophication. (Vollenweider R., Marchetti R. & Viviani R. eds). Proceeding of an International Conference, Bologna 21-24 March 1990; Elsiever Science Publishers, Amsterdam.

Fuhrman J.A. & Azam F. 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: evaluation and field results. *Marine Biology*, 66: 109-120.

Giacobbe M.G. 1996. Programma di attività di ricerca e sperimentazione per la salvaguardia del mare Adriatico. PRISMA1, Sottoprogetto "Cicli Biogeochimici". *Relazione finale* U.O. Ist. Talassografico CNR-Messina.

Hauxhurst J.D., Kaneko T. & Alias R.M. 1981. Characteristics of bacterial communities in the Gulf of Alaska. *Microb. Ecol.*, 7 167-182.

Karner M. & Herndl G.J. 1992. Extracellular enzymatic activity and secondary production in free-living and marine snow associated bacteria. *Marine Biology* 113:341-347.

Kim S.J. & Hoppe H.G. 1986. Microbial extracellular enzyme detection on agar plates by means of fluorogenic methylumbelliferyl-substrates. 2ème Colloque international de bacteriologie marine, GERBAM-CNRS, 3: 175-183.

Herndl G.J. & Peduzzi P. 1988. The ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northen Adriatic Sea.I.General consideration. *Marine Ecology*, 9: 79-90.

Martinez J., Smith D.C., Steward F. & Azam F. 1996. Variability in ectohydrolytic enzyme activities of pelagic marine bacteria and its significance for substrate processing in the sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 10: 223-230.

Obernosterer I., & Herndl G.J. 1995. Phytoplankton extracellular release and bacterial growth: dependence on the N:P ratio. *Marine Ecology Progress Series* , 116: 247-257.

O'Brien M. & Colwell R.R. 1987. A rapid test for chitinase activity that uses 4-methylumbelliferyl-N-acetyl-b-D-glucosaminide. *Appl. Environ. Microbiol*. 53: 1718-1720.

Rabitti S. & Bianchi F. 1996. Le condizioni idrologiche nel contesto della circolazione generale dell'Adriatico Settentrionale. PRISMA 1: Sottoprogetto "Cicli biogeo-chimici ed indagini ecofisiologiche". Relazione dell' U.O. IBM Venezia.

Smith D.C., Simon M., Alldredge A.L. & Azam F. 1992. Intense hydrolytic enzyme activity on marine aggregates and implications for rapid particle dissolution. *Nature*, 359: 139-142.

Thingstad T.F. & Rassoulzadegan F. 1995. Nutrient limitations, microbial food webs, and "biological C-pumps": suggested interactions in a P-limited Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 117: 299-306.

Van Wambeke F. & Bianchi M.A. 1990. Effect of organic enrichments on marine planktonic networks and heterotrophic bacterial potential. *Marine Ecology Progress Series* 63: 17-25.

Zaccone R. & Caruso G. 1996. Stima dell'attività proteasica batterica in Adriatico settentrionale mediante substrati fluorogenici. Atti S.It.E., 17: 87-90.

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

INDICE PER AUTORI

ABBIATI M. 285
ACCORNERO A. 65 227
AIROLDI L. 285
ALIANI S. 173
ALLEGRA A. 369
ALVISI M. 285
AMBROGI R. 313
ANSELMI B. 457
ANTONELLID. 437
ARNTZ W.E. 3
AUSILI A. 473
AZZARO F. 159 377
AZZARO M. 91 323
BALDETTI P. 425
BARBANTI A. 217
BARTOLI M. 217
BENEDETTI-CECCHI L. 285
BERGAMASCO A. 109
BIAGI F. 273 331
BIANCHI C.N. 285
BONACCORSO A. 377
BORGHINI M. 173
BORSETTI A.M. 447
BRANDOLINI P. 239
BRUNI V. 131 141
BUSCARINU P. 41
CALÌ C. 487
CALLIERI C. 149
CAMPILI F. 359
CAPPELLETTI A. 285
CARUSO G. 377 487
CATI F. 447
CENTURIONI L. .203 263
CHIODO G. 91 323
CINELLI F. 285
CIVITARESE G. 359
COCCO E. 77 341
COCITO S. 351
COLANTONI P. 285
CONVERSANO F. 359
CORRADI N. 193
CRISAFI E. 323
DANDO P.R. 285
DE ASMUNDIS C. 173
DECEMBRINI F. 159 377
DE DOMENICO E. 377
DE GROSSI P. 455
de MAGISTRIS M.A. 77
DE MARINIS E. 303
DEMICHELI L 109
DE STEFANIS E.G 239
DUGO G. 141
FABIANO M. 227
FERDEGHINI F. 351
FERRARI M. 193
FERRETTI O. 457
FICCA G. 99
FONTANA P. 313
FRIGNANI M. 121
GABELLINI M. 473
GAMBACCINI S. 273
GARMENDIA L.M. 313

GASPARINI G.P,		173
GENOVESE L.		369
GIACOBBE S.		377
GIORDANI G.		217
GIORGETTI A.		399
IMMORDINO F.		457
IVALDI R.		193
JERACE S.		377
LABBROZZI L.		121
LA FERLA R.	91	369
LANGONE L	109	121
LEONARDI M.	369	377
LICANDRO P.		387
LUGLIÈ A.	41	183
MAGAZZÙ G.		159
MAIMONE G.		369
MANCA B		399
MANZELLA G.M.R		109
MARABINI F.		415
MASTRANTUONO L		425.
MELLARA F.		473
MELONI R.	109	173
MISIC C.	65	227
MONDELLO D.		377
MONTICELLI L.		377
MORGANA J.G.		437
MORIGI C.		447
MORRI C.		285
MURATORI R.		455
MUSELLA F.		341
NICCOLAI I.		285
ORSI M.	203	263
PASCHINI E.	65	159
PELLEGRINI D.		473
PICCO P.	109	285
PIERINI S.		53
PILO E.		41
POVERO P.	65	227
PRATO S.		437
PUGLIESE CARRATELLI E.		251
RAVAIOLI M.		121
RIBERA D'ALCALÀ M.		359
RINELLI P.		377
ROMAGNOLI C.		457
ROMANO E		473
SAITTA M.		141
SALA I.		313
SANSONE E.		99
SCARDI M.		359
SCARFÒ R.		487
SECHI N.	41	183
SERTORIO ZUNINI T.		387
SETTI M.		193
SICCARDI A		. 263
SILVESTRI M.		303
SOUTHWARD A.		285
SOUTHWARD E.		285
SPANÒ N.C		377
SPULSI G.		251
STOCKNER J.		29
TUNESI L.		331
VACCAREZZA C.		387
VANUCCI S.	131	141
VELTRI P.		251
VIAROLI P.		217
VIRDIS T.		183
ZACCONE R	377	487
ZAZZETTA M.		273