

EVOLUZIONE RECENTE DEL LITORALE COMPRESO TRA CAPO NOLI E PUNTA BERGEGGI (LIGURIA OCCIDENTALE)

Pierluigi BRANDOLINI e Mauro SPOTORNO

Istituto di Geografia, Università di Genova

SUMMARY

Recent evolution of the littoral between Capo Noli and Punta Bergeggi (Western Liguria) - This paper presents an analysis of the geomorphology and the evolution of the coastal area included in the boroughs of Noli, Spotorno and Bergeggi in the province of Savona. On the basis of the historical cartographic data, combined with archival sources and direct geological surveys it has been possible to reconstruct the most important changes in the shoreline in relation to the natural processes and the increasing anthropical activities over the last three centuries. The survey outlines such dynamics finding out three transformation phases. The first one is characterized by an progression between the mid-eighteenth and the first years of the nineteenth century. The second one corresponds to a following phase of recession of the beaches lasting until the sixties of our century, followed by a new phase of progression. However, in the first two phases the changes have been determined both by natural and anthropic causes, the former especially climatic and the latter particularly linked to the agrarian transformations of the area. On the contrary in the third phase they are exclusively caused by stockpiles for artificial nourishment.

RIASSUNTO

La ricerca presenta l'analisi dei principali caratteri geomorfologici e dell'evoluzione recente della fascia costiera compresa tra Capo Noli e Punta di Bergeggi, che si estende nel territorio dei comuni di Noli, Spotorno e Bergeggi. Essa si sviluppa lungo un tratto di fascia litoranea di circa 9,5 km, caratterizzato da un'alternanza di coste alte e coste deposte, che rappresentano rispettivamente la fronte a mare di ripidi versanti e di piccole piane alluvionali, lungo i quali affiorano formazioni permo-carbonifere. Sulla base di materiale cartografico storico, compendiato da ulteriori informazioni d'archivio e sulla scorta di un rilevamento geologico diretto e fotointerpretativo, si è tentato di ricostruire le più importanti trasformazioni del litorale nel corso degli ultimi tre secoli, in rapporto sia ai processi naturali che alle sempre più preponderanti attività antropiche. Lo studio individua tre fasi che vedono, rispettivamente, un avanzamento del litorale tra la metà del Settecento ed i primi anni dell'Ottocento, una successiva fase di arretramento protrattasi sino agli anni '60 del nostro secolo, ed infine un nuovo avanzamento. Tuttavia, mentre nelle prime due le variazioni sono state indotte sia da cause naturali, in specie climatiche, che antropiche, segnatamente legate alle trasformazioni agrarie, nell'ultima fase esse sono riconducibili esclusivamente all'attività dell'uomo ed in particolare ai versamenti a mare effettuati tra gli anni Sessanta e Settanta.

1. CARATTERI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICI

Nel tratto di fascia costiera esaminato affiorano alcuni lembi delle formazioni geologiche più antiche riscontrabili nel territorio ligure, risalenti al Permo-Carbonifero. Queste sono costituite da filladi e micascisti carboniosi, scisti quarzo-sericitici, porfiroidi prasiniti e scisti prasinitici, rispettivamente presenti lungo i versanti di Bergeggi, nel settore di sinistra idrografica del bacino del T. Coreallo e nella zona compresa tra Spotorno e Noli (Fig.1). A tali formazioni sono associate, in serie rovesciata, rocce del Trias (inferiore e medio), formate da dolomie e calcari dolomitici affioranti lungo le pendici dei promontori di Bergeggi e di Noli ed i versanti limitrofi (Marini et al., 1984).

Questi caratteri litologici unitamente all'evoluzione tettonica, e più recentemente gli interventi antropici, hanno condizionato in modo determinante l'attuale assetto geomorfologico del litorale, che appare caratterizzato dall'alternanza di promontori, laddove affiorano le formazioni più competenti (dolomie, calcari dolomitici, porfiroidi e andesiti), ed insenature più o meno accentuate, incise in corrispondenza delle formazioni meno tenaci (scisti quarzo-sericitici, filladi e micascisti carboniosi). Altresì la piattaforma continentale antistante questo tratto di litorale, in conseguenza di una marcata attività neotettonica disgiuntiva, si presenta poco estesa, con substrato roccioso prevalentemente affiorante e/o comunque con copertura sedimentaria olocenica molto esigua (Corradi et al., 1984). In particolare, esaminando nel dettaglio l'area a partire dal settore meridionale, si rileva un primo tratto di costa a falesia, di 500 m di lunghezza, che rappresenta il piede del versante settentrionale di Capo Noli, a cui segue un tratto di costa bassa deposita di poco meno di 2 km di lunghezza, fronte a mare della piccola piana fluvio-costiera, formata dagli apporti del T. Noli, che drena un bacino idrografico di circa 5 km².

In corrispondenza di Punta del Vescovado la costa ritorna alta per circa 1 km, bordata da spiagge artificiali o protetta da opere a mare. Nella zona antistante a quest'ultimo tratto si rilevano lungo la spiaggia sommersa lembi di *beach rock* (Biancotti et al., 1991). Nella zona antistante l'abitato di Spotorno il litorale prosegue per 2,4 km basso, di tipo deposito, e costituisce il fronte a mare della piana costiera formata dalle coltri alluvionali trasportate dal T. Coreallo, a cui fa capo un bacino imbrifero di circa 12 km². La spiaggia di Spotorno si estende ulteriormente, per circa 1 km verso nord, oltre la fronte della piana alluvionale, tra Punta S. Antonio e Punta del Maiolo (spiaggia della "Maremma"), ai piedi di un ripido versante, alla cui base si possono tuttora riconoscere le tracce dell'antica falesia, ormai morta e protetta da estesi depositi litoranei (recenti ed attuali) in gran parte antropizzati. Questi ultimi sono dovuti all'alimentazione di versante, agli apporti di un rio che drena un piccolo bacino e ai sedimenti trasportati dal T. Coreallo, provenienti per deriva litoranea da sud e ai materiali riversati artificialmente, in diversi periodi, come sarà meglio descritto nei paragrafi successivi, in alcune discariche a mare ubicate nel settore meridionale dell'area studiata.

Oltre Punta del Maiolo prende avvio il Promontorio di Bergeggi, in corrispondenza del quale la costa si ripresenta, per circa 1,1 km, alta con falesie vive, incise su pareti calcareo-dolomitiche di diverse decine di metri di altezza, che si ergono talora sino ad oltre i 50 m di quota, fra le quali si interpone, tra Punta del Maiolo e Punta Prodani, una spiaggia artificiale, creata con una discarica, di circa 200 m di lunghezza. Di fronte a Punta del Maiolo, a circa 250 m di distanza al largo, si presenta la piccola Isola di Bergeggi, antica prosecuzione a mare del promontorio omonimo, di cui conserva la stessa litologia. Dopo Punta delle Grotte, limite settentrionale del promontorio di Bergeggi, segue un tratto di costa di circa 1,2 km caratterizzato da acclivi versanti, che terminano a mare con falesie non più attive, incise in rocce filladiche e micascistose, attualmente protette dall'azione erosiva del mare dalle opere di contenimento della S.S. 1 Via Aurelia e da una estesa spiaggia artificiale, formatasi nel corso degli ultimi decenni,

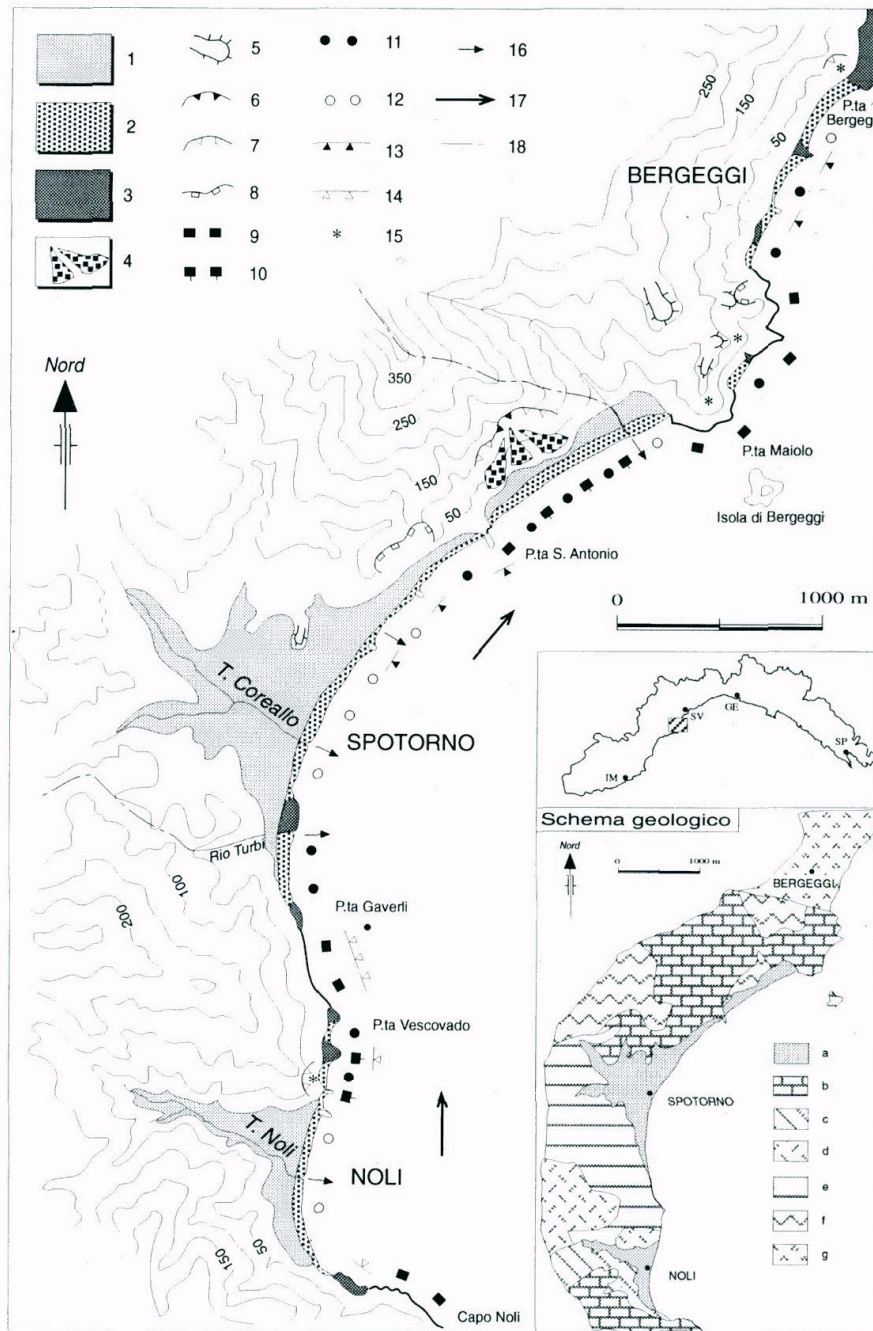


Fig. 1 - Carta geomorfologica: 1) depositi alluvionali fluvio-costieri recenti e attuali; 2) depositi di spiaggia attuali; 3) depositi di discarica (colmate a mare); 4) conoidi di frana; 5) spianate; 6) cigli di frana attivi; 7) cigli di frana quiescenti; 8) cigli di cava non attivi; 9) falesie vive; 10) falesie morte; 11) spiagge emerse a granulometria prevalentemente ghiaioso-ciottolosa; 12) spiagge emerse a granulometria prevalentemente sabbioso-ghiaiosa; 13) opere di difesa ortogonali alla costa; 14) opere di difesa aderenti alla costa; 15) consolidamenti di versante; 16) principali apporti torrentizi; 17) deriva litoranea prevalente; 18) limiti amministrativi comunali. Nello schema geologico: a) depositi alluvionali (quaternario); b) dolomie e calcari dolomitici (Ladinico-Anisico); c) quarziti (Scitico); d) prasiniti e scisti prasinitici (Permo-Carbonifero); e) porfiroidi (Permo-Carbonifero); f) quarzoscisti (Permo-Carbonifero); g) filladi e micascisti carboniosi (Carbonifero superiore-medio).

grazie a poderosi versamenti. Tale arenile termina in corrispondenza della grande colmata a mare, recente espansione meridionale del porto di Vado, che ha comportato l'avanzamento dell'originaria linea di riva di oltre 100 m, laddove erano presenti le falesie di Capo Vado.

Per quanto riguarda i processi, le forme ed i depositi che interessano i versanti a ridosso del litorale si sono rilevate alcune evidenze geomorfologiche:

- alcune tracce di spianate lungo il Promontorio di Bergeggi intorno ai 75, 125 e ai 170 m, e ai margini della piana alluvionale del T. Coreallo intorno ai 30-40 m di quota s.l.m. La messa in posto di tali superfici, e di altre non cartografate, è riconducibile oltre che a variazioni del livello marino quaternario a movimenti neotettonici;

- fenomeni di instabilità lungo il versante compreso tra Punta S. Antonio e Punta del Maiolo, ove si rileva un ampio ciglio di distacco, in parte attivo ed in parte quiescente, che si erge sino a circa 150 m di quota. Al piede di questo versante compare un accumulo detritico costituito in prevalenza da grossi blocchi inglobati in materiale più fine, parzialmente terrazzati a fasce agricole. Tale fenomeno franoso è da ricondurre a processi di crollo e ribaltamento, la cui evoluzione attualmente è legata a movimenti gravitativi di versante, ma innescata probabilmente da fenomeni erosivi marini, per scalzamento dell'antica falesia, quando il mare lambiva il piede del versante stesso;

- estesi e potenti accumuli eluvio-colluviali e di frana stabilizzati e/o interessati da modeste riattivazioni lungo il versante compreso tra Punta delle Grotte e Punta di Bergeggi, attualmente quasi totalmente terrazzati ad uso agricolo con diffuse insediamenti.

Il quadro generale dell'esposizione meteomarina del paraggio è caratterizzato dall'azione dominante dei mari di libeccio, con un fetch di circa 800 km e dall'azione regnante dei mari di scirocco, con un fetch di circa 200 km, da cui consegue una deriva litoranea prevalente, in rapporto all'orientazione della linea a di costa, da sud verso nord.

2. CAMBIAMENTI STORICI DELL'USO DEL SUOLO

"Già nel XII secolo ronchi e pastini avevano guadagnato all'agricoltura la maggior parte del territorio dei comuni, tanto che si rendeva necessaria la promulgazione di specifiche norme volte alla protezione dei residui lembi boschivi vietando oltre al pascolo delle capre, anche la pratica della coltura temporanea, che, eliminando la vegetazione spontanea senza dare al suolo in pendenza una sistemazione agraria duratura, creava condizioni favorevoli all'azione distruttiva delle acque dilavanti" (Quaini, 1973). All'epoca le colture più diffuse erano la vite ed il fico, che come è noto in epoca medievale assicurava la componente zuccherina dell'alimentazione. Secondo il Giustiniani, alla metà del XVI secolo i territori sui quali insistono i comuni che attualmente si affacciano lungo il tratto di costa compreso tra Capo Vado ed il Promontorio di Bergeggi contavano poco più di 200 fuochi (Galassi et al., 1979), sicché si può stimare che la loro popolazione potesse essere compresa tra le 800 e le 1.000 anime.

All'inizio dell'epoca napoleonica la popolazione dell'area si era più che triplicata rispetto a quella di due secoli prima, si stima infatti che nel 1805 i tre comuni di Bergeggi, Spotorno e Noli contassero circa 3.265 abitanti, ed in conseguenza del forte incremento demografico, si verifica una consistente espansione delle aree coltivate. Inoltre, analogamente a gran parte delle Liguria occidentale, si registrò il lento declino della viticoltura e l'ascesa dell'olivicoltura. Dalla "Statistica del Dipartimento di Montenotte" redatta dal prefetto napoleonico Chabrol de Volvich risulta che nei primi anni del secolo la ricchezza del territorio era "costituita dall'olio, dal vino e dai prodotti della pesca. C'è anche qualche terreno coltivato a grano o a verdura, qualche castagno, e degli orti difficili da irrigare", mentre i rilievi alle spalle di Bergeggi e di Capo Vado erano quasi esclusivamente interessati dall'allevamento ovino (Chabrol de Volvich, 1824).

Intorno alla metà dell'Ottocento la popolazione del tre comuni era di poco inferiore ai 4.000 individui (Felloni, 1961) e l'olivicoltura aveva raggiunto la sua massima espansione, anche se i vigneti ed i castagneti conservano una discreta importanza nell'economia agraria locale (De Bartolomeis, 1847). Tuttavia, nella seconda metà del secolo scorso si verifica una progressiva crisi delle attività agricole tradizionali, in particolare dell'olivicoltura, e l'avvio di correnti migratorie. A ciò si accompagna una stasi della crescita demografica, sicché al censimento del 1911 l'area faceva registrare una popolazione di circa 3.900 abitanti.

A partire dall'ultimo decennio del secolo XIX anche questo tratto di costa inizia ad essere interessato dalle prime forme di turismo, la cui affermazione riceve un indubbio impulso dall'apertura, negli anni 70, della ferrovia Genova-Ventimiglia. Ben presto si manifestarono le prime conseguenze ambientali del progressivo sviluppo della pressione esercitata dalle nuove infrastrutture viarie, la cui realizzazione era stata sollecitata anche dal nuovo indirizzo di sviluppo economico dell'area.

Tra le due guerre mondiali la zona si consolida come apprezzato centro balneare ed elioterapico, con la costruzione di numerosi alberghi, stabilimenti balneari, e colonie marine. Tuttavia tali processi interessano ancora esclusivamente i tratti di costa bassa mentre le falesie di Capo Noli, del Promontorio di Bergeggi e la costa alta tra la radice di quest'ultimo e Capo Vado non subiscono variazioni rispetto alla situazione rilevata secoli precedenti. Nel secondo dopoguerra e fino a tutti gli anni 70, con l'affermazione di forme di turismo di massa, si assiste ad una rapida espansione edilizia che conduce alla saturazione delle limitate piane di Spotorno e Noli e all'aggressione dei circostanti versanti collinari. Sicché oggi il patrimonio edilizio complessivo è pari a 9.415 abitazioni, di cui oltre il 60 % costituito da "seconde case" e la popolazione residente supera gli 8.200 abitanti, che triplica nei periodi di maggior afflusso turistico. A sua volta l'incentrarsi dell'economia locale sul pressoché esclusivo sfruttamento delle risorse balneari ha comportato la necessità non solo della tutela e/o del ripascimento degli arenili esistenti, ma anche ha fatto sì che venissero assunte iniziative per la creazione di nuove aree da destinarsi alla balneazione, mediante l'apertura di grandi discariche a mare.

3. VARIAZIONI MORFOLOGICHE DEL LITORALE DAL XVIII SECOLO AD OGGI

Dall'esame di una carta della metà del Settecento¹ (Fig. 2a) si può osservare quello che potrebbe considerarsi l'assetto morfologico "naturale" dell'area, non ancora condizionato, se non modestamente, dagli interventi dell'uomo. Le spiagge erano molto più ridotte rispetto ad oggi, presenti unicamente in corrispondenza della fronte delle piane di Noli e di Spotorno, oltre che lungo brevi tratti ai piedi delle prevalenti falesie, ai margini del Promontorio di Bergeggi, laddove sfociavano alcuni piccoli rii, ed immediatamente a nord di Punta del Vescovado.

Nel corso del XVIII secolo, sulla base di quanto testimoniato da una carta realizzata dal Delucchi nel 1798² (Fig. 2b), si assiste ad un marcato avanzamento della linea di costa nella zona prospiciente Spotorno ed in particolare a sud di esso, ove si viene a formare, tra la Costa Gaverli e la foce del T. Turbi, una spiaggia abbastanza profonda, che risultava del tutto assente nella carta di epoca anteriore. Tale avanzamento del litorale, ipotizzabile anche per altri settori dell'area esaminata, di cui non si hanno però a conferma

¹ *Parte del luogo di Savona, s.d., s.s.,* Archivio di Stato di Genova, Fondo cartografico, B. 16 n°1032.
Carta topografica, formula per invito della Municipalità di Noli, dove sono presentemente li confini fra i Cantone e Comunità di Noli e quello di Spotorno; A. Delucchi, 1798; Archivio di Stato di Genova, Fondo cartografico; B. 12, n° 1032.

rappresentazioni cartografiche coeve, e legato probabilmente ad un periodo di forte "input" sedimentario favorito da una maggiore erosione dei versanti e quindi da un notevole apporto solido dei corsi d'acqua. Ciò e da mettersi in relazione sia con l'intenso disboscamento attuato nei secoli precedenti, sia con la concomitanza di condizioni climatiche particolarmente aggressive (prolungate ed intense precipitazioni) che contrassegnarono la cosiddetta "piccola età glaciale" con cui coincide il periodo in oggetto.

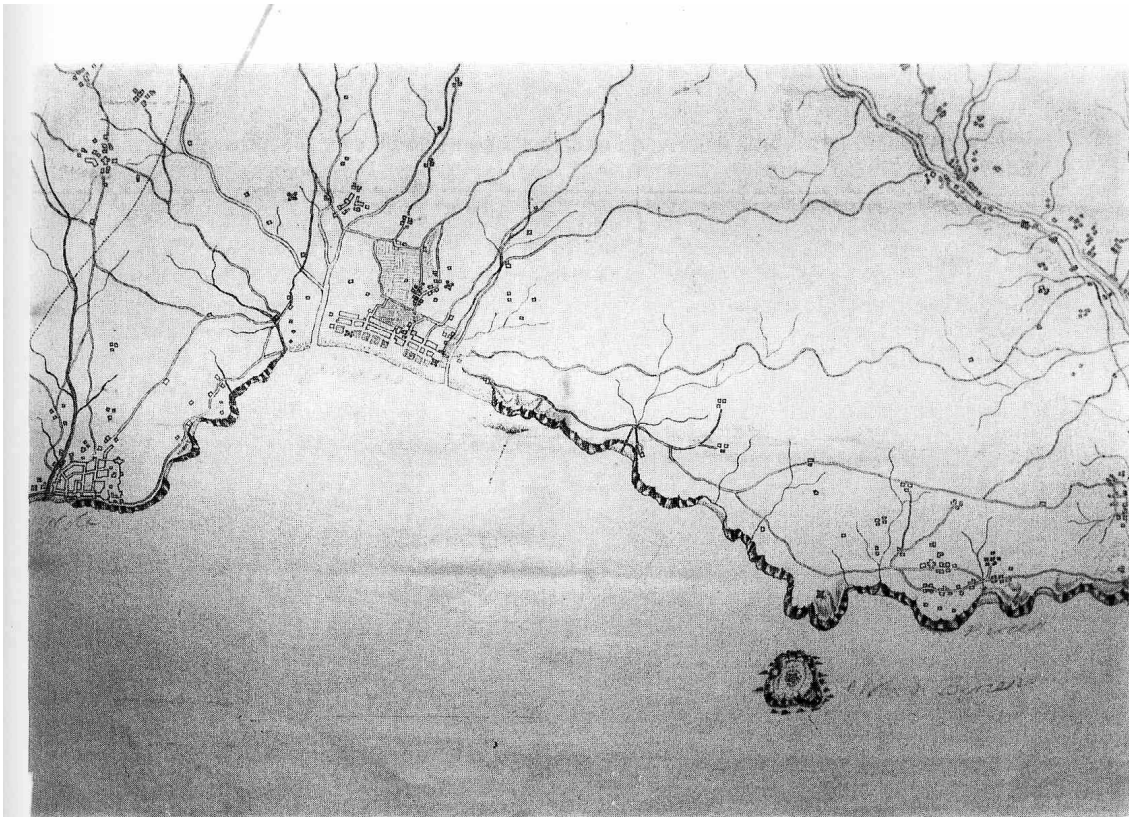
Intorno alla metà del XIX secolo si può ipotizzare un'inversione di tendenza nella dinamica del litorale con l'avvio del processo di arretramento delle spiagge: dai documenti d'archivio disponibili e da quanto documentato dall'Ascari, risulta che già nel 1873 la spiaggia ad occidente della foce del T. Turbi, di cui si è citata la recente formazione, era notevolmente ridotta e nel 1880 era del tutto scomparsa. Sebbene sia possibile che su tale consistente variazione abbiano influito da un lato fattori climatici e dall'altro la diffusione su larga scala dell'olivicoltura, con la conseguente espansione del terrazzamento artificiale dei versanti, il contenimento delle coltri e la regimazione delle acque di ampi settori dei bacini imbriferi della zona, è certo che sull'arretramento della linea di costa esercitarono una notevole influenza due particolari interventi antropici.

Il primo consistette nella costruzione, iniziata negli anni '60 del secolo scorso, di un pennello radicato all'estremità della Punta del Vescovado, ulteriormente prolungato nel 1871, che causò l'espansione dell'arenile nell'estremità settentrionale della spiaggia di Noli e la riduzione quasi totale del trasporto di material! dalla baia di Noli a quella di Spotorno, secondo la deriva litoranea prevalente della zona. Il secondo intervento fu la costruzione di una nuova strada tra Spotorno e Noli che, abbandonando il precedente percorso di mezza costa, venne realizzata poco a monte della linea di riva. Tale manufatto andò ad interferire sulla dinamica della spiaggia, sia emersa che sommersa, impedendo il libero esplicarsi dell'ondazione ed accelerando l'erosione marina. Nei decenni successivi il processo di scalzamento della spiaggia sommersa venne aumentato dalla costruzione di una massicciata a difesa della strada che ciononostante, per tutta la metà del nostro secolo veniva a più riprese danneggiata dalle mareggiate (Ascari, 1937).

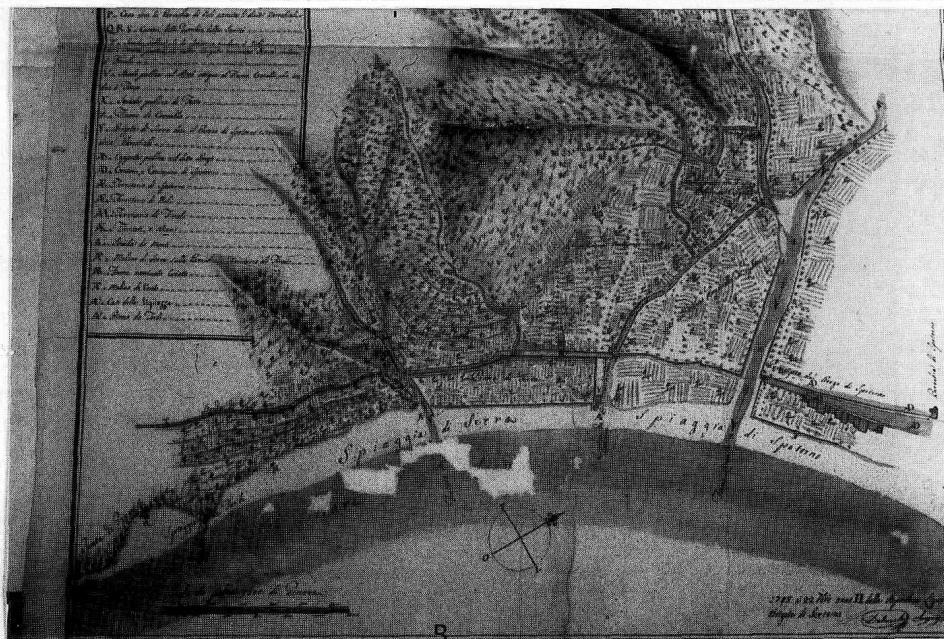
Nei primi decenni del '900 la costa di Noli non presenta variazioni di rilievo, mentre lungo il tratto di litorale antistante Spotorno, tra la foce del rio Turbi e la Punta del Maiolo, continua la fase erosiva, a cui si tentò di ovviare con la costruzione di due pennelli tra la foce del T. Coreallo e Punta S. Antonio. La realizzazione di queste opere ha comportato, in conseguenza della deriva litoranea prevalente proveniente da Sud, un accumulo nei settori di spiaggia sopraflutto ed un aumento dell'erosione nei tratti sottoflutto, a cui hanno fatto seguito frequenti attacchi dei marosi alla sede stradale adiacente alla spiaggia.

Dall'analisi delle carte dell'Istituto Geografico Militare relative agli anni '30 la costa di Bergeggi appare completamente rocciosa con la scomparsa delle piccole spiagge, ben visibili nelle carte storiche del XVIII secolo, probabilmente a causa della quasi totale riduzione dell'alimentazione di versante, dovuta all'apertura della strada litoranea ed alla realizzazione di opere di contenimento a sua protezione. In tale periodo si rilevano altresì l'apertura e/o l'espansione di due grandi cave a cielo aperto di materiale lapideo (calcari dolomitici), per l'edilizia e la produzione di calce: una ubicata nella zona poco a nord dell'abitato di Spotorno, immediatamente a ridosso del litorale, l'altra coltivata alla base del settore settentrionale del Promontorio di Bergeggi, poco a monte del margine superiore della falesia, che costituiscono uno dei primi e rilevanti interventi a forte impatto ambientale.

Un'ulteriore variazione della tendenza evolutiva delle spiagge, sia emerse che sommerse, legata esclusivamente a fattori antropici, si verifica nel secondo dopoguerra, ed in specie a partire dagli anni 60-70, in conseguenza della creazione di grandi discariche a mare in più punti lungo tutto il litorale esaminato, utilizzando il materiale di risulta delle



A



B

Fig. 2 - a) Carta della metà del settecento raffigurante l'area compresa tra la foce del T. Noli e la Punta di Bergeggi, Archivio di Stato di Genova, Fondo cartografico, Busta 16, N°1032 b) Carta del 1798 che rappresenta il tratto di litorale compreso tra Punta Gaverli e la foce del T. Coreallo, Archivio di Stato di Genova, Fondo cartografico, Busta 12, N°701. Aut. n.10/96 - Prot. 2602.V/9.96.

opere autostradali, ferroviarie e derivanti dalla costruzione della centrale termoelettrica di Vado Ligure. Nell'insieme essi hanno favorito la costituzione di nuovi arenili con esigui oneri finanziari per le amministrazioni comunali in cui venivano a ricadere.

Una prima grande discarica è stata realizzata sulle pendici settentrionali di Capo Noli, ed attualmente ha un'estensione residua di circa 120 m di lunghezza per 50 m di profondità. Tale ripascimento ha favorito l'espansione dell'arenile di Noli grazie anche alla costruzione di due pennelli lungo il margine settentrionale della spiaggia che hanno bloccato il trasporto dei sedimenti per deriva litoranea verso nord. In corrispondenza di Punta Vescovado sono state realizzate due discariche minori che hanno permesso la formazione di nuove spiagge dove in precedenza compariva la falesia viva. I residui di tali discariche sono stati successivamente protetti dall'azione erosiva delle mareggiate ed utilizzati come pennelli e, nel caso della maggiore, come sede di una piscina.

Altre due rilevanti discariche sono state realizzate nel settore meridionale della baia di Spotorno: la prima è stata aperta immediatamente a mezzogiorno del rio Turbi ed oggi ha una profondità di circa 30/40 m ed una lunghezza di circa 60/70 m, la seconda, di dimensioni assai rilevanti si estende per circa 120 di profondità e 250 di lunghezza. I materiali derivanti dal loro smantellamento hanno determinato un consistente accrescimento dell'arenile antistante il centro abitato di Spotorno. Inoltre la stabilizzazione di questo tratto è stata favorita da tre pennelli posti a mezzogiorno della Punta di S. Antonio, nella porzione centrale della baia. Grazie all'intensa deriva litoranea verso nord i materiali di queste due discariche sono stati trasportati sino al tratto di litorale che precede Punta del Maiolo la quale, bloccandone in modo pressoché totale l'ulteriore movimento verso Bergeggi, ne ha provocato la deposizione e ha permesso l'accrescimento della spiaggia della Maremma. I versamenti hanno interessato anche i tratti di costa alta: in particolare è stata effettuata una discarica tra Punta del Maiolo e Punta Prodani il cui rimaneggiamento da parte del moto ondoso ha permesso la formazione di una spiaggia ai piedi della fronte orientale della ripida falesia del Promontorio di Bergeggi. Tale spiaggia artificiale appare tuttora abbastanza stabile in quanto compresa tra due punte e soprattutto grazie alla protezione dall'ondazione di libeccio da parte dell'Isola di Bergeggi e della stessa Punta del Maiolo.

I maggiori interventi che hanno mutato drasticamente l'assetto del litorale sono stati quelli effettuati nella zona antistante Bergeggi dove, tra il 1968 ed il 1969, sono state aperte due grandi discariche con materiali di risulta di cantieri per la costruzione della centrale termoelettrica di Vado Ligure. Tra il Promontorio di Bergeggi e la Punta di Bergeggi lo smantellamento e la redistribuzione delle discariche ha determinato la formazione, pressoché ex novo, di un litorale sabbioso contrassegnato da tre marcate falcature condizionate dalla presenza di due nuovi pennelli e dall'aggetto della colmata del porto di Vado. L'azione di versamento di materiali ha comportato altresì modifiche nelle caratteristiche della spiaggia sommersa (Fierro, 1969), specie nella sua sezione settentrionale dove si è verificata una diminuzione della pendenza, mentre minori variazioni si sono verificate nella sua porzione meridionale.

5. CONCLUSIONI

Attraverso il confronto di documenti cartografici storici, sulla base dei caratteri geomorfologici e delle dinamiche naturali in atto e tenuto conto dei principali interventi antropici avvenuti nel territorio esaminato, si sono ricostruite le più rilevanti trasformazioni della linea di costa, cercando di ipotizzarne le cause in rapporto a fattori naturali ed umani.

A partire dalla meta del XVIII secolo si sono individuate almeno tre fasi evolutive: da una situazione morfologico-ambientale iniziale caratterizzata dalla prevalente presenza di

..

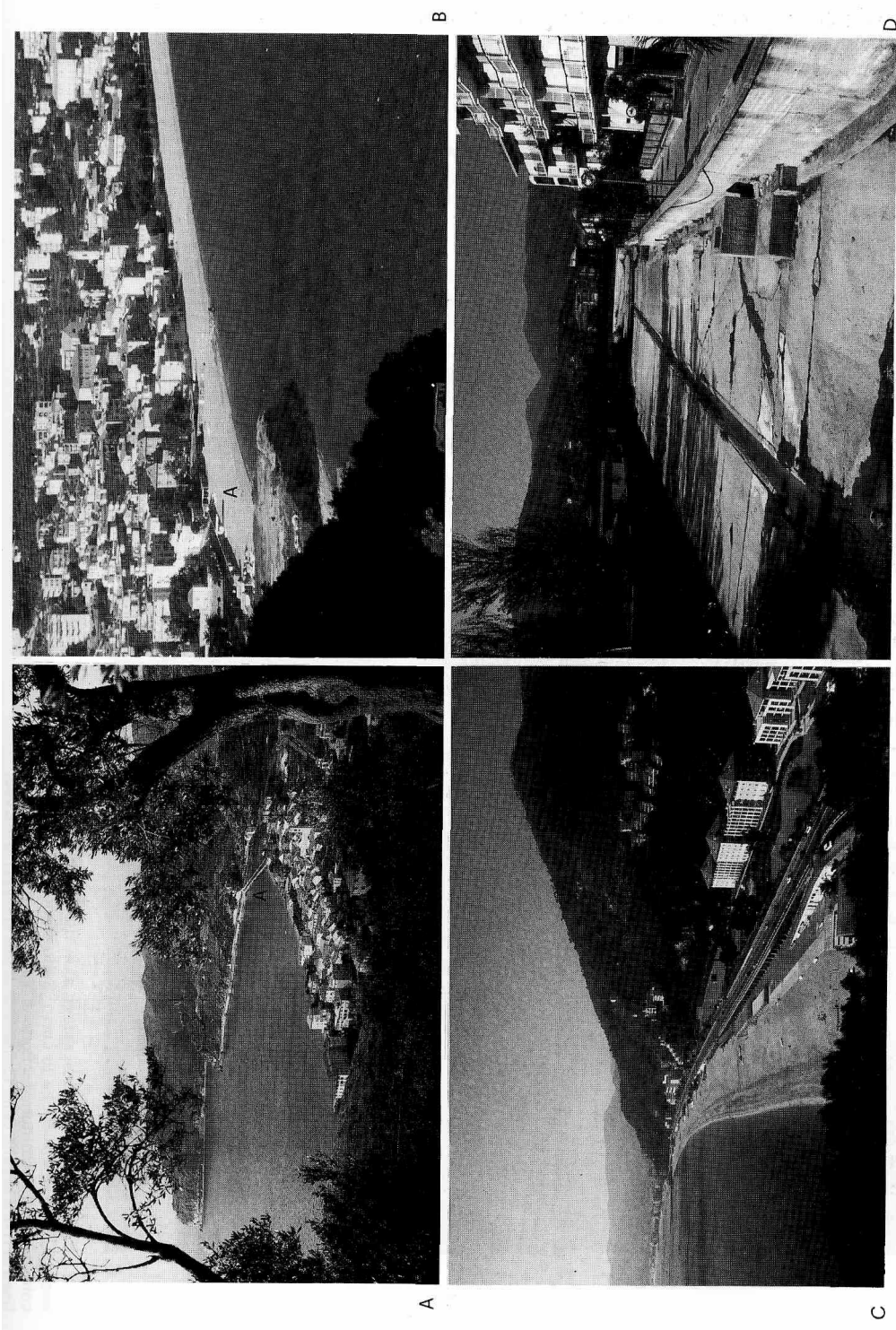


Fig. 3 - Il litorale di Spotorno: in una panoramica dei primi anni '50 si può osservare tra la foce del T. Coreallo e quella del Rio Turbi la strada litoranea lambita dal mare (tratto indicato con A); b) è visibile in primo piano la grande discarica che ha permesso il ripascimento dell'arenile di Spotorno. Dal confronto dei tratti indicati con la lettera A in questa foto e nella precedente si può notare il notevole avanzamento della linea a di riva; c) la spiaggia della "Maremma" con sullo sfondo Punta S. Antonio; d) il tratto terminale dell'asta del T. Coreallo, completamente cementificato, che testimonia l'attuale pressoché totale mancanza di alimentazione naturale della spiaggia.

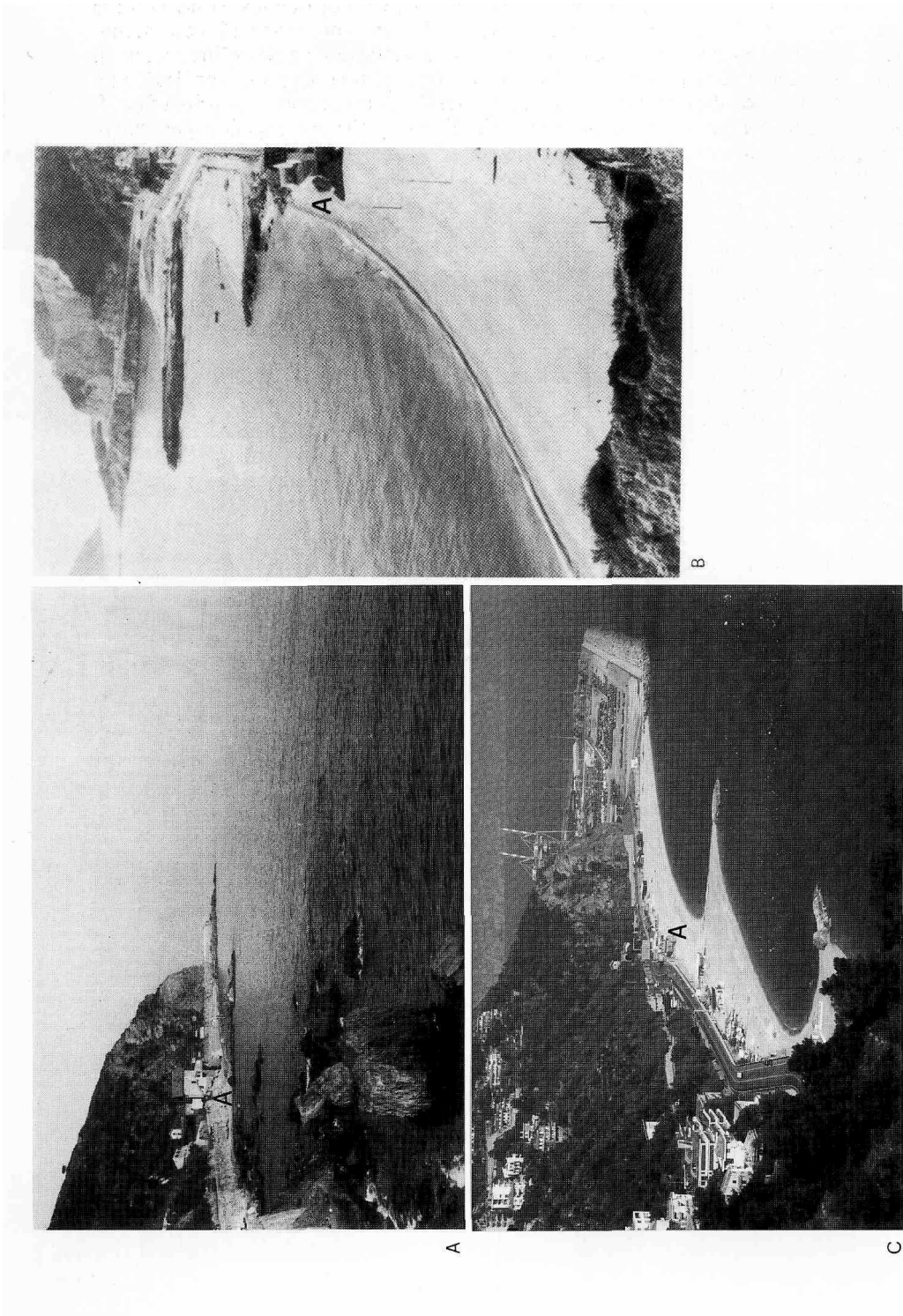


Fig. 4 - Il litorale di Bergeggi: a) la situazione negli anni '50, sullo sfondo la Punta di Bergeggi (Foto G. Fierro); b) la situazione alla fine degli anni '60, con le discariche in corso. Sullo sfondo il Promontorio di Bergeggi (Foto G. Berruolo e G. Sirito); c) la situazione attuale. Sullo sfondo la colmata e le infrastrutture del Porto di Vado. Dal raffronto delle foto, prendendo come riferimento il punto A, si può osservare il radicale avanzamento della linea di riva a seguito della formazione di una spiaggia artificiale.

coste alte e di vere e proprie falesie, intervallate da modesti lidi sabbiosi si passa tra la fine del secolo XVIII e l'inizio del successivo ad una situazione di consistente avanzamento della linea di riva. Nel corso del XIX secolo si assiste ad un'inversione di tendenza con arretramento progressive del litorale, che si protrae sino alla fine degli anni '60 del nostro secolo, allorché inizia una nuova fase di accrescimento. La prima fase di avanzamento e da correlarsi a cause sia climatiche sia antropiche, tra le quali in particolare l'intenso diboscamento, che nell'insieme hanno favorito un notevole incremento dell'erosione dei versanti e quindi del trasporto solido. La successiva fase di arretramento potrebbe essere connessa ad un miglioramento delle condizioni climatiche (fine della cosiddetta "piccola età glaciale") ed alla concomitante diffusione dell'olivicoltura su gran parte del territorio con la realizzazione di poderose opere di terrazzamento e di contenimento dei versanti che viceversa hanno ridotto gli apporti solidi al litorale.

Infine l'attuale fase di avanzamento della linea di riva si deve esclusivamente ad interventi antropici costituiti dai grandi versamenti a mare degli anni '60/'70 che hanno consentito l'ampliamento delle spiagge esistenti e la formazione di nuove. In conclusione, in considerazione della oramai pressoché totale mancanza di alimentazione naturale del litorale in conseguenza della cementificazione dei versanti, della piana e degli alvei stessi dei corsi d'acqua, si ritiene che l'attuale consistenza delle spiagge possa essere garantita solo se negli anni a venire si provvederà ad ulteriori ripascimenti.

BIBLIOGRAFIA

- Ascari, M., L. Baccino & G. Sanguined. 1937. Le spiagge della riviera ligure. *Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane*, C.N.R., Roma.
- Beriolo, G. & G. Sirito. 1972. Spiagge e porti turistici. Hoepli Ed., Milano.
- Biancotti, A., G. Brancucci & M. Motta. 1991. Note illustrative alla carta geomorfologica dell'altopiano delle Manie e dei bacini idrografici limitrofi (Liguria occidentale). *Studi e Ricerche di Geografia*, anno XIV, 2: 155-177.
- Brandolini, P., G. Fierro, M. Firpo, M. Piccazzo & R. Terranova. 1994. Esempi di interazione tra fattori naturali ed interventi antropici nell'evoluzione recente della fascia costiera ligure. In: *Studi Geografici in onore di Domenico Ruocco* (a cura di F. Citarella), Napoli: 41-55.
- Chabrol de Volvic, G. 1824. Statistique des provinces de Savone, d'Oneille, d'Acqui et de partie de la province de Mondovi, formant l'ancien departement de Montenotte, tomo II, Didot, Paris.
- Corradi, N., P. Brandolini & M. Spotorno. 1994. Variazioni del litorale e utilizzo del suolo: il tratto costiero compreso tra capo vado e il promontorio del Priamar (Liguria occidentale). *Atti del 10° Congresso AIOL, Alassio, 4-6 novembre 1992*: 233-244.
- Corradi, N., F. Fanucci, G. Fierro, M. Firpo, M. Piccazzo & L. Mirabile. 1984. La piattaforma continentale ligure: caratteri, struttura, ed evoluzione. Rapporto tecnico finale del Prog. Fin. "Oceanografia e fondi marini". CNR. Roma.
- Cortemiglia, G.C. 1991. Inquadramento morfogenetico generale della costa ligure e lineamenti morfologici principali del tratto tra Finale Ligure e Spotorno. *Studi e Ricerche di Geografia*, anno XIV, 2: 138-154.
- De Bartolomeis, L. 1847. Notizie topografiche e statistiche sugli Stati Sardi, Chirio e Mina, Torino.
- De Stefanis, A., M. Marini & R. Terranova, Geomorfologia di aree campione della Liguria 1984. Prog. Fin. "Conservazione del Suolo", Sottoprogetto "Fenomeni Franosi". CNR. Selca, Firenze.

- Fanucci, F., N. Corradi, M. Firpo, M. Piccazzo & S. Tucci. 1990. Les cotes de la Mer Ligure: morphologie, dynamique et évolution. *Littoral*, Comptes rendus du 1^{er} symposium international de l'Association européenne EUROCOAST, Marsiglia, 9-13 luglio 1990: 82-86.
- Felloni, G. 1961. Popolazione e sviluppo economico della Liguria nel secolo XIX. ILTE, Torino.
- Ferro, G. 1953. Ricerche sulle condizioni morfologiche della costa ligure: 1°) Il litorale savonese. *Annali di ricerche e Studi di geografia*, IX, 3.
- Fierro, G. & G.B. Piacentino. 1969. Ripascimenti delle spiagge e variazioni batimetriche del fondo marino a Bergeggi. *AM dell'Istituto di Geologia dell'Universita di Genova*, vol. VII, 1: 3-19.
- Firpo, M., N. Corradi, G.C. Cortemiglia, F. Fanucci, G. Fierro & M. Piccazzo. 1989. Atlante delle Spiagge italiane: foglio 92-93 Albenga-Savona. C.N.R. Roma, SELCA, Firenze.
- Galassi, D., M.P. Rota. & A. Scrivano. 1979. Popolazione e insediamento in Liguria secondo la testimonianza di Agostino Giustiniani. Leo S. Olschki Editore, Firenze.
- Limoncelli, B. & M. Marini. 1969. Indagine sulle risorse paesaggistiche e sulle aree verdi della fascia costiera Ligure. Ricerca geomorfologica. Istituto di Architettura e Tecnica Urbanistica della Facoltà di Ingegneria della Università di Genova, C.N.R., Genova.
- Pellegrini, G.B., A. Carton, D. Castaldini, A. Cavallin, L. D'Alessandro, F. Dramis, B. Gentili, L. Laureti, A. Prestininzi, G. Rodolfi, U. Sauro, M. SorrisoValvo & V. Spagna. 1994. Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo (Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 16 (2) 1993: 129-152.
- Quaini, M. 1973. Per la storia del paesaggio agrario in Liguria. C.C.I.A.A., Savona.
- Servizio Geologico Nazionale. 1970. Carta Geologica d'Italia, Foglio 92-93 Albenga-Savona.
- Spotorno, M. 1991. Le trasformazioni agrarie nella Liguria Occidentale nell'ultimo sessantennio. *Studi e Ricerche di Geografia*, anno XIV, 1: 32-79.

CONSIDERAZIONI SULLA VARIABILITA' DELLA CIRCOLAZIONE NEL CANALE DI SICILIA

Fabio CONVERSANO¹, Federico CORATO² e Maurizio RIBERA D'ALCALA²

¹Dottorato in Scienze Ambientali (Scienze del Mare), Università di Genova

²Stazione Zoologica "A. Dohrn" di Napoli

ABSTRACT

Within the frame of the POEM-BC project (Physical Oceanography of the Eastern Mediterranean-Biology and Chemistry), two oceanographic cruises were carried out in the Sicily Channel in October 1991 and in May 1992 by the Institute of Meteorology and Oceanography of the Naval University and the Zoological Station "A. Dohrn" of Naples.

Coherent patterns over a spatial scale of several hundred kilometers were described. According to Robinson et al. (1992) these should be classified as sub-basin structures, being one order of magnitude larger than the mesoscale eddies in the Mediterranean Sea (Robinson et al., 1987).

During the October 1991 cruise a cyclonic gyre was described occupying the central part of the Channel, with the LIW (Levantine Intermediate Water) characterized by >38.7 P.S.U., doming up to 120 m. On the other hand, the main feature during the May 1992 survey was an anticyclonic meander of NAW (North Atlantic Water), approximately following the contour of the Sicilian shelf break, forcing the LIW on to the shelf

Chemical data suggest that both modes allow diffusion of LIW nutrients into the photic layer where they presumably sustain new production.

We hypothesize that such mechanisms, although being non-permanent structures, might play a relevant role in fertilizing the whole area of the Channel, which is significantly more productive than the adjacent Ionian and Tyrrhenian Seas.

1. INTRODUZIONE

La scelta del Canale di Sicilia come area di studio nell'ambito di progetti di ricerca nazionali ed internazionali, come il POEM-BC (Physical Oceanography of the Eastern Mediterranean-Biology and Chemistry), scaturisce da due aspetti rilevanti. Il Canale è l'interfaccia tra il bacino Occidentale e quello Orientale del Mediterraneo e quindi il suo funzionamento e il fattore determinante per gli scambi tra i due; la sua morfologia complessa e la sua estensione, di gran lunga maggiore di altri stretti, lo rende sede di processi interni che finiscono per influenzare la dinamica fisica, chimica e biologica dello scambio tra i due bacini e quindi le caratteristiche dei singoli bacini.

La sua scala verticale agli estremi è di dimensioni ridotte (le soglie sono rispettivamente di 430 m a Ovest e di 480 m a Est) mentre la sua scala orizzontale, sia lungo i flussi principali che trasversalmente ad essi, risulta piuttosto estesa. Inoltre la zona centrale include un bacino interno, lo Stretto di Sicilia propriamente detto (Manzella et al., 1988) con profondità che raggiungono i 700-800 m, ed è caratterizzata dalla presenza di una fossa molto profonda che segue Fasse del Canale per un lungo tratto con una sprofondatura che raggiunge i 1700 m. Come osservato da Budillon et al. (1994), i valori dell'ossigeno disciolto e le caratteristiche T-S rilevate al fondo della fossa nel 1991 lasciano supporre un attivo ricambio dell'acqua al fondo.

Da un punto di vista dinamico il Canale è essenzialmente un sistema a due strati, attraversato in superficie dal *jet* di acqua atlantica (NAW) che scorre da Ovest verso Est, mentre nello strato intermedio fino al fondo il flusso va nel verso opposto ed è costituito da acqua intermedia di origine levantina (LIW).

Il flusso superficiale è estremamente variabile, nella velocità e nella forma, generando meandri e strutture transienti di mesoscala (Manzella et al., 1990) di posizione e senso di rotazione variabile tanto che, nell'area centrale del Canale, è possibile incontrare circolazione sia ciclonica che anticiclonica.

I due tipi di circolazione sono stati osservati rispettivamente nella campagna di Ottobre '91 ed in quella di Maggio '92. Questi due modi forzano due diverse distribuzioni dei nutrienti così come due diverse strutture della colonna d'acqua nella zona centrale del Canale.

In questo lavoro verranno schematicamente confrontate e commentate le due situazioni ed il loro ruolo nella distribuzione verticale di nutrienti.

2. MATERIALI E METODI

L'area del Canale di Sicilia è stata investigata nelle campagne oceanografiche POEM-BC-O91 (O91) ed POEM-BC-M92 (M92) effettuate rispettivamente con le N/O "MINERVA" ed "URANIA" del C.N.R., coprendo un reticolo di 98 stazioni nella prima campagna e 77 nella seconda (Fig. 1).

I profili di temperatura e salinità sono stati ottenuti impiegando un profilatore multiparametrico della NEIL BROWN MK in, nella prima parte della campagna O91, sostituito con un SEA BIRD 911plus nella seconda parte, a seguito di un guasto della NEIL BROWN. Tutti i profili della campagna M92 sono stati invece ottenuti con un SEA BIRD 911plus. Come noto, quest'ultima sonda acquisisce 24 dati al secondo con una accuratezza di 0.002 °C per la temperatura e 0.001 S/m per la conducibilità. Le batisonde sono state calibrate prima delle campagne rispettivamente presso FOGS di Trieste (NEIL BROWN) ed il Saclant Center di La Spezia (SEA BIRD). Per la raccolta dei campioni d'acqua è stato utilizzato un campionatore di tipo *ROSETTE* con dodici bottiglie NISKIN da 10 litri ciascuna. Sono stati prelevati, campioni, generalmente alle quote standard, per l'analisi di ossigeno disciolto, nutrienti (nitrati, ortofosfati, silicati), e dei pigmenti clorofilliani. Un controllo del funzionamento delle sonde è stato effettuato in ogni stazione su almeno una quota con termometri digitali a rovesciamento SIS ed il prelievo di campioni di acqua per la determinazione indipendente della salinità effettuata con Autosal 8400*.

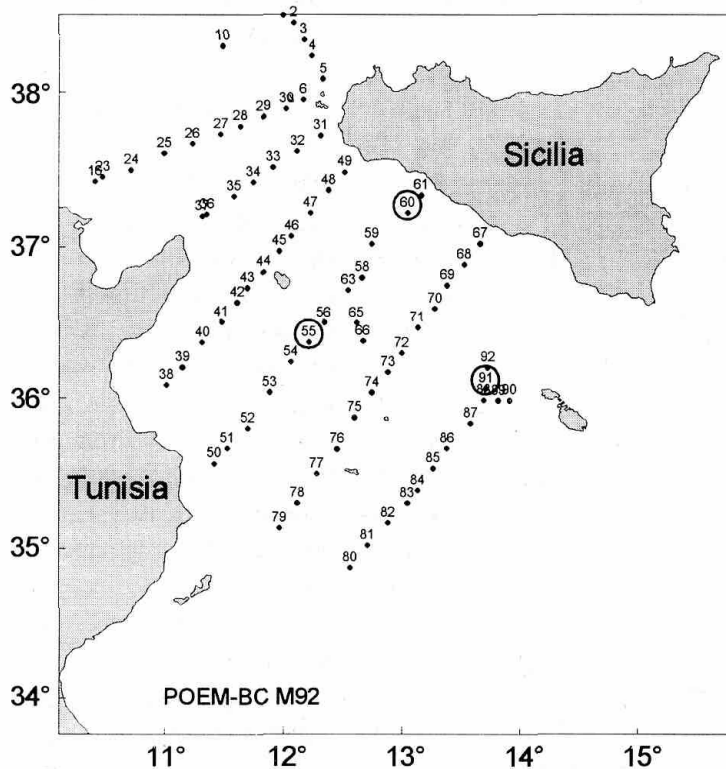
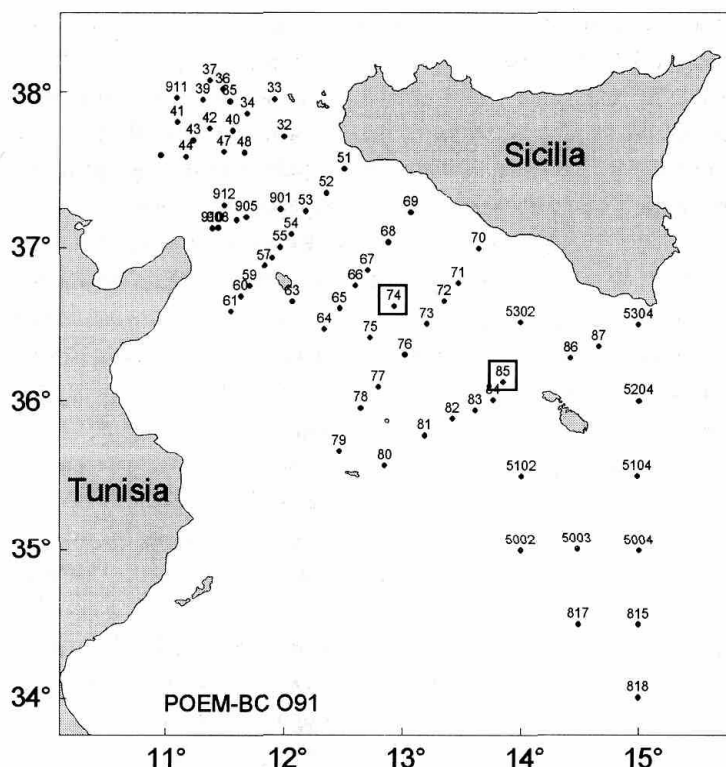


Fig 1 - Grigliati di campionamento

Particolare importanza è stata data alla determinazione dell'ossigeno disciolto.

È stato utilizzato il classico metodo di Winkler e le titolazioni effettuate con una buretta automatica METROHM 615, con determinazione visiva del punto equivalente (Saggiomo et al., 1990). Il bianco dei reagenti è stato misurato approssimativamente ogni 10 stazioni mentre la standardizzazione del titolante (Tiosolfato 0.1 N) è stata effettuata almeno una volta al giorno. In due occasioni è stato eseguito un test di riproducibilità del metodo analitico analizzando dieci sub-campioni prelevati dalla stessa bottiglia Niskin. La precisione ottenuta è stata di $\pm 0.7 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ in O91 e di $\pm 0.9 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ in M92.

I campioni per l'analisi dei nutrienti sono stati prelevati in fiale da scintillazione da 20 cm^3 , congelati senza alcun trattamento subito dopo il prelievo, e successivamente analizzati in laboratorio con un analizzatore in continuo AutoAnalyzer® Technicon secondo i metodi riportati in Grasshoff et al (1983).

Per problemi dovuti ad una cattiva conservazione dei campioni sin dalla fase del congelamento i dati disponibili per la O91 sono in numero molto più ridotto dei campioni prelevati.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Le anomalie delle altezze dinamiche calcolate nello strato 10/150 dbar mostrano due diversi tipi di circolazione all'interno del Canale (Figg. 2a e 2b). Nell'Ottobre '91 è evidente la presenza di un esteso vortice ciclonico al centro del Canale, mentre nel Maggio 1992 è chiaramente visibile un meandro il cui verso della circolazione è anticiclonico.

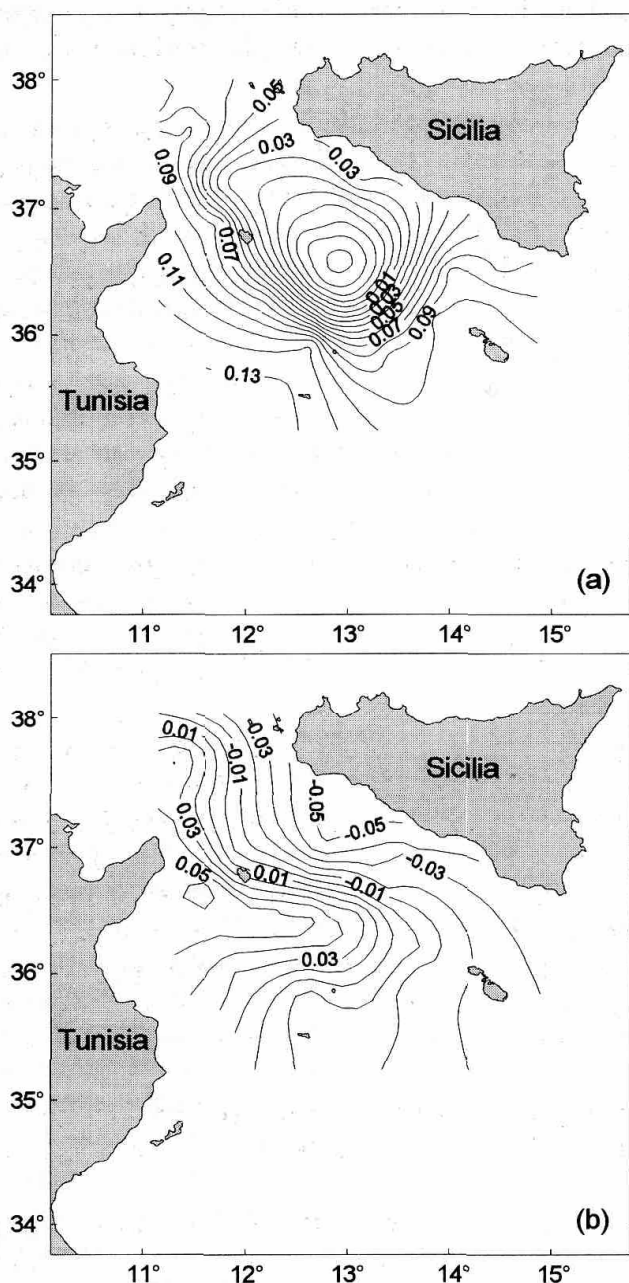


Fig. 2 - Topografia delle altezze dinamiche 10/150 dbar relative alla campagna POEM-BC O91 (a) e POEM-BC M92 (b)

La scala delle due strutture è comparabile e pari a circa 140 Km, quasi un ordine di grandezza superiore a quella che Robinson et al. (1987) hanno definito come scala caratteristica delle strutture di mesoscala per il Mediterraneo Orientale. Sulla base di quel tipo di classificazione si tratta quindi di strutture di sottobacino comparabili, come dimensioni, a quelle molto note del Mediterraneo Orientale quali il vortice di Rodi o quello di Mersha Matrath.

La distribuzione del campo di massa nel Canale di Sicilia non mostra sempre una baroclinicità così accentuata e la presenza di strutture così coerenti (Budillon et al., 1992). Se si tiene inoltre conto dell'intervallo temporale relativamente breve tra la O91 e la M92, si può senz'altro concludere che in aggiunta alla ben nota variabilità di mesoscala (Manzella et al., 1990), esiste una notevole variabilità spaziale di scala più larga, che riconduce al problema di come poi quest'ultima intervenga o sia legata alla modulazione dei flussi.

La prima differenza rilevante tra le due situazioni è nel percorso della NAW. La distribuzione orizzontale della salinità, che non riportiamo per ragioni di spazio, mostra che durante la O91 il nucleo della NAW era confinato tutto verso la meta africana del Canale, ovvero all'esterno della struttura ci-

clonica, mentre nel periodo della M92, essendo il meandro essenzialmente costituito dal *core* della NAW, quest'ultima risultava essere molto più spostata verso il versante italiano.

Con quest'ultimo tipo di dinamica vi è ovviamente convergenza al centro della curvatura del meandro e divergenza al bordo. E poichè in questo caso il meandro segue almeno in parte la curvatura della piattaforma siciliana che delimita il più profondo bacino interno, il conseguente innalzamento delle isopiche dovuto alla divergenza avviene in corrispondenza della scarpata continentale, portando acqua più profonda fin sulla piattaforma.

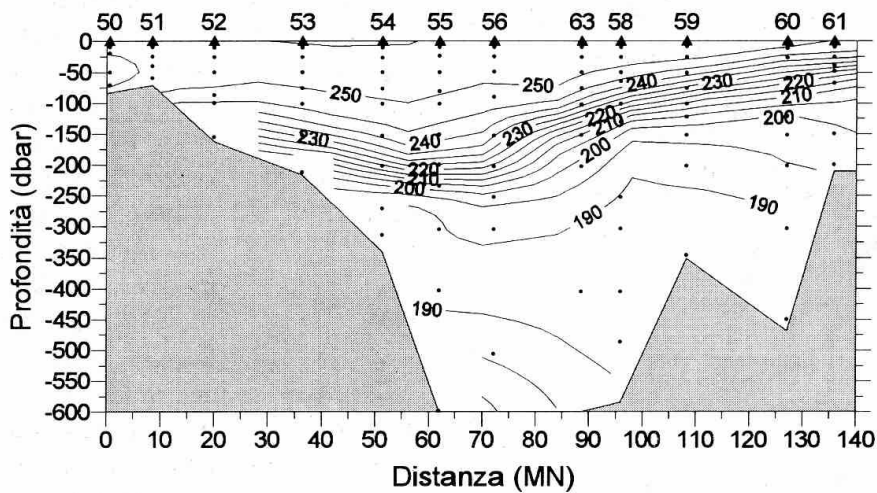


Fig. 3 - Distribuzione dell'ossigeno disciolto nella sezione centrale durante la campagna M92

La Fig. 3 mostra l'inclinazione delle isolinee relative all'ossigeno disciolto per la sezione corrispondente alla zona centrale del Canale. Tra una delle stazioni al centro del meandro (staz. 55) e quella sul bordo della piattaforma (staz. 60) l'isolinea di 200 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ è sollevata di circa 150

m. Il valore scelto e quello associate ad una salinità superiore a 38.7 P.S.U.. e può quindi essere preso, in prima approssimazione, come il valore corrispondente al massimo di salinità della LIW. In questo caso è riportata la sezione relativa all'ossigeno disciolto per poterla confrontare con quella ottenuta per la stessa sezione nella O91 [Fig. 6 in Budillon *et al.* (1994)]. Ovviamente nella O91 l'inclinazione delle isopiche è esattamente opposta, essendo Tunica differenza il sollevamento della stessa isooxa tra il bordo della struttura ciclonica ed il suo centro, che in questo caso è pari circa 80 m. Va però aggiunto che in questo secondo caso la profondità assoluta della LIW è pari a circa 100 m, mentre nella M92 la quota a cui è stato possibile osservare concentrazioni di ossigeno pari a 200 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ era di circa 120 m.

La rilevanza di ambedue i processi è quella di portare nei pressi della zona fotica, o talvolta nella zona stessa, acque più ricche di nutrienti, fertilizzando così lo strato superficiale.

Questo è meglio evidenziato dal confronto di profili verticali di ossigeno, nitrati e silicati per alcune stazioni campione. In Fig. 4a sono riportati i profili relativi alle stazioni 74 e 85 della O91, mentre nella 4b quelli relativi alle stazioni 55, 60 e 95 della M92. E' possibile ricavare la posizione geografica delle stazioni sopra elencate in Fig. 1: esse sono state scelte nel centro (O91-74; M92-55) o al bordo (O91-85; M92-60 e M91-91) delle

due strutture osservate. La M92-91 è stata inclusa, in aggiunta alla M92-60, in quanto posizionata nella stessa zona della O91-85, così come per la coppia di quelle centrali.

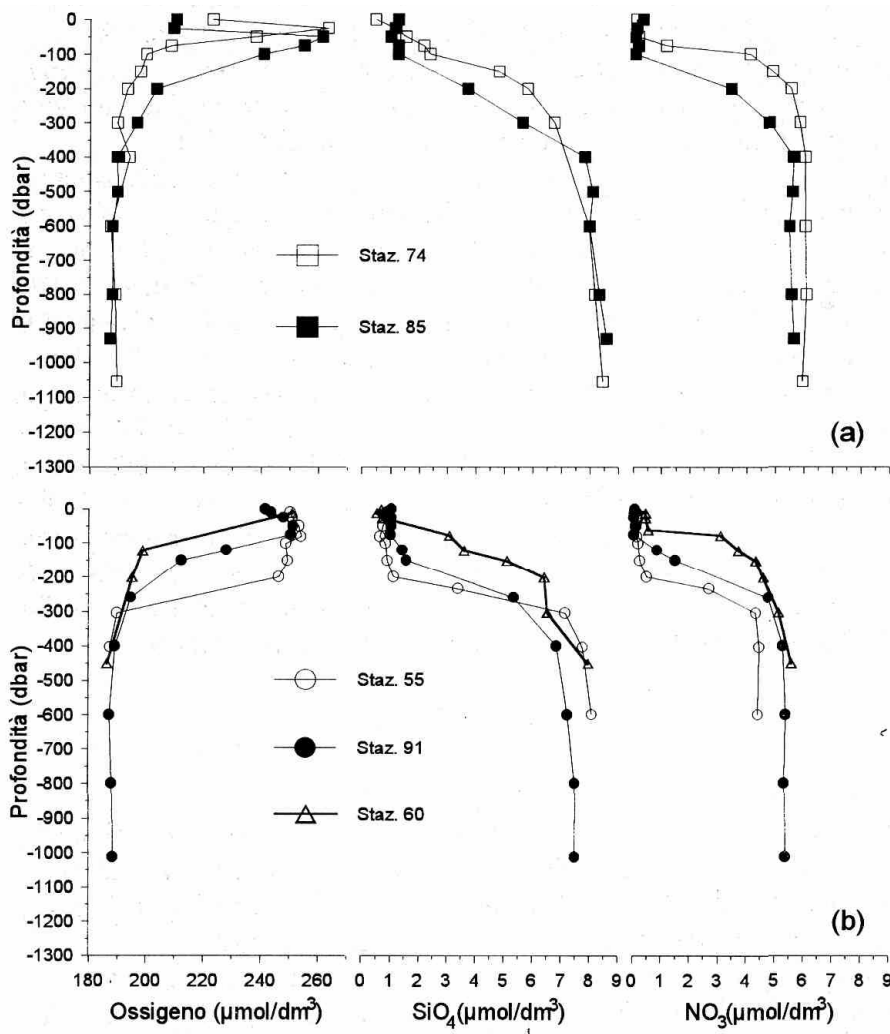


Fig. 4 - Profili verticali di ossigeno disciolto, silicati e nitrati per alcune stazioni caratteristiche delle campagne O91 (a) e M92 (b)

Oltre che confermare l'entità dell'inclinazione (in questo caso del nutriclino), i profili mostrano l'elevato valore, se confrontato con quello caratteristico dell'acqua superficiale, della concentrazione di nitrato fino alla profondità di 70 m. Va inoltre rilevata anche la diversa pendenza della curve dei silicati e dei nitrati nello strato superficiale sulla stazioni a nutriclino alto. Mentre quella dei sicati mostra un incremento progressivo con la profondità e, quindi, un siliocline graduale, quella dei

nitrati evidenzia un nitraclino molto più ripido e concentrate in meno di 70 m.

Questo a sua volta suggerisce tre considerazioni: in ambedue le dinamiche la curvatura delle isopiche non corrisponde soltanto ad un aggiustamento isostatico ma, evidentemente, produce anche mescolamento tra l'acqua superficiale e quella intermedia rendendo quindi più efficace l'arricchimento della strato superiore. La differenza nella forma delle curve di nitrati e silicati e probabilmente dovuta alla rimozione quasi completa dei nitrati da parte del plancton autotrofo, il che confermerebbe che la diffusione verticale ha sostenuto produzione nuova, sia in Ottobre che in Maggio. Visto infine il diverso tasso di rimozione tra silicati e nitrati, si potrebbe ipotizzare che una parte importante di produzione nuova sia da attribuirsi ad organismi non utilizzatori di silicio, e questo anche nella parte alta della zona fotica.

Ulteriore supporto a precedenti processi di produzione primaria viene dai valori di concentrazione dell'ossigeno disciolto. Nella stazione O91-74 è ben visibile un massimo subsuperficiale di ossigeno a 25 m che corrisponde ad un A.O.U di circa $20 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

Poichè la notevole profondità della stazione ha costretto ad una più bassa risoluzione verticale del campionamento, il valore riportato è probabilmente una sottostima del vero massimo, che nelle stazioni limitrofe era infatti posizionato intorno ai 35-40 m.

Sempre dal confronto dei profili in Fig. 4, risulta che la distorsione delle isolinee, ovvero la modificazione della struttura verticale della colonna d'acqua, è molto più accentuata, in presenza di forte baroclinicità, lungo la direzione trasversale al Canale che in quella longitudinale al suo asse (cfr. M92-60 ed M92-91 in figura e Budillon et al., (1994) per la O91), con l'eccezione dell'area della soglia occidentale dove ovviamente la presenza della soglia stessa accentua una distorsione lungo il suo asse.

Per la M92, in cui è stato possibile effettuare per la prima volta sezioni entro le acque di interesse tunisino e quindi coprire buona parte della larghezza del Canale, è stata stimata la variazione di nitrato nei due strati della NAW e LIW. Lo spessore dello strato della NAW è stato scelto pari a 125 m (Moretti et al, 1993) mentre per la LIW si è considerate lo strato dai 125 m fino al fondo. Con una tecnica di analisi oggettiva (*Kriging*) si è stimato il valore medio della concentrazione dei nitrati per i due strati nelle due sezioni posizionate sulla soglia occidentale (staz. 31-37) e sulla direttrice Sicilia-Lampedusa (staz. 67-79). Nella tabella che segue sono riportati i valori ottenuti.

$\langle[\text{NO}_3]\rangle (\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3})$	<i>Nord-Ovest</i>	<i>Sud-Est</i>
<i>NAW</i>	1.02	0.71
<i>LIW</i>	3.10	2.88

Da questa risulta che nella NAW tende a diminuire la concentrazione di nitrati procedendo da Ovest verso Est, mentre nella LIW la stessa concentrazione aumenta procedendo nel verso opposto. Questo potrebbe riflettere la rimozione biologica di nitrati nello strato superficiale e la rimineralizzazione dell'azoto organico nella LIW.

Una risposta più precisa può venire solo dopo aver corretto queste variazioni per la parte dovuta al mescolamento verticale. Ma se si considera che comunque la differenza tra la perdita di nitrato della NAW ed il corrispondente arricchimento della LIW ha un valore diverso da zero e pari a $0.09 \mu\text{mol}/\text{dm}$, risulta evidente una modificazione biologica dell'azoto ossidato.

Il metodo adoperato contiene certamente alcune approssimazioni (bassa risoluzione verticale per le concentrazioni dei nutrienti, scelta dello spessore dello strato, non completa chiusura della sezione meridionale) ma la sua applicazione produce un risultato che può essere considerato indicativo dei processi di trasformazione che hanno luogo nel Canale.

Come più volte riportato in letteratura (Moretti et al., 1993 tra gli altri) la salinità nell'area del Canale ha il suo massimo posizionato tra i 200 ed i 350 m, per poi decrescere molto lentamente verso il fondo. Al di sotto dei 600 m è spesso impossibile distinguere i vari tipi di acqua su un diagramma θ -S, anche in corrispondenza della profondità di 1700 m. Questo fatto è stato portato da Budillon et al (1994) come supporto alla possibilità di un efficace mescolamento verticale nel Canale. I profili verticali dei nutrienti aggiungono maggiore informazione e aiutano ad introdurre un intervallo di LIW, che possiamo

definite come quello in cui il gradiente verticale dei nutrienti, segnatamente i silicati, è diverse da zero: questo intervallo raggiunge, nella sua parte inferiore, i 700-800 m, pur variando in relazioni alla stagione ad alla posizione.

Considerando che il tasso di rimineralizzazione dei silicati è piuttosto lento e che il tempo di residenza della LIW nel Canale è dell'ordine di 6÷12 mesi, possiamo considerare il gradiente dei silicati come un segnale delle caratteristiche della LIW che proviene dal bacino Orientale; per cui l'intervallo della LIW introdotto prima assume il significato dell'intervallo di variabilità della LIW e del suo spessore verticale. Nel nostro caso lo spessore sembra essere di almeno 500-600 m, più alto di quanto assunto da Moretti et al. (1993) sulla sola base dei dati 9-S. Al tempo stesso il profilo risulta praticamente diritto, considerando anche l'accuratezza della procedura, per profondità superiori ai 700-800 m. Viene quindi confermato che la massa d'acqua che riempie le zone più profonde del Canale è un tipo d'acqua assolutamente omogeneo per uno strato che talvolta supera i 1000 m. Questo tipo d'acqua corrisponde alla LIW posizionata all'estremo inferiore dell'intervallo introdotto prima e presumibilmente deriva dal mescolamento della LIW con la EMDW (Eastern Mediterranean Deep Water), ma fuori del Canale.

Il confronto invece tra i valori di ossigeno tra le due campagne per le stazioni profonde mostra variazioni dell'ordine di 2-3 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, con valori più bassi nella M92. La differenza è come si vede di poco superiore all'errore di misura stimato e non tiene conto di possibili errori sistematici nella procedura analitica tra le due campagne. Considerando inoltre la differenza di posizione delle stazioni, sarebbe azzardato ritenere la differenza osservata significativa e quindi ipotizzare che ci sia stato consumo di ossigeno nei sei mesi intercorsi tra le due campagne, in una colonna d'acqua sostanzialmente ferma. La disponibilità dei dati della M92, che confermano l'omogeneità verticale, non consente quindi di formulare ipotesi sui tempi di ricambio di una colonna d'acqua così profonda.

4. CONCLUSIONI

Le osservazioni condotte nelle due campagne mettono in evidenza che, pur non essendoci nel Canale di Sicilia strutture permanenti che generino movimenti verticali nella colonna d'acqua, se si esclude il fronte al bordo della scarpata continentale siciliana, esistono evidentemente strutture dell'ordine di grandezza di un centinaio di chilometri che si succedono nel tempo e che hanno l'effetto di produrre risalite e mescolamento della LIW con le acque superficiali. Queste strutture, che hanno dimensione diversa dai piccoli vortici di mesoscala, pur presenti nel Canale, potrebbero essere il fattore principale della significativa trasformazione delle masse d'acqua che ha sede nel Canale e della maggiore fertilità, in termini di biomasse planctoniche e nectoniche, ivi osservata.

Considerate il ruolo del Canale di Sicilia nello scambio tra i due bacini mediterranei è urgente un approfondimento dei processi che avvengono al suo interno e della loro correlazione con i vari tipi di forzanti, in quanto le modificazioni indotte nelle masse d'acqua hanno riflessi notevoli sia nei flussi termoclinici che bio-geochimici.

BIBLIOGRAFIA

- Budillon, G., M. Moretti, E. Sansone & E. Zambianchi. 1992. Seasonal transports in the Strait of Sicily: updating results. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 33: 212.
- Budillon, G., F. Conversano, F. Campili, F. Corato & G. Spezie. 1994. Alcune caratteristiche del processi biogeochimici nel Canale di Sicilia. In: G. Albertelli, R. Cattaneo-Vietti & M. Piccazzo eds., *Atti X Congresso A.I.O.L.*: 155-165.
- GrasshofT, K., M. Ehrhard & K. Kremlmg. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, 419 pp.
- Manzella, G.M.R., G.P. Gasparini & M. Astraldi. 1988. Water exchange between the Eastern and Western Mediterranean through the Strait of Sicily. *Deep-Sea Res.*, 35: 1021-1035.
- Manzella, G.M.R., T.S. Hopkins, P.J. Minnet & E. Nacini. 1990. Atlantic water in the Strait of Sicily. *J. Geophys. Res.*, 95(C2): 1569-1575.
- Moretti, M., E. Sansone, G. Spezie & A. de Maio. 1993. Results of investigations in the Sicily Channel (1986-1990). *Deep-Sea Res.*, 40: 1181-1192.
- Robinson, A.R., A. Hecht, N. Pinardi, J. Bishop, W.G. Leslie, Y. Rozentraub. A.J. Mariano & S. Brenner. 1987. Small synoptic/mesoscale eddies: the energetic variability of the Eastern Levantine Basin. *Nature*, 327(6118): 131-134.
- Robinson, A.R., P. Malanotte-Rizzoli, A. Hecht, A. Michelato, W. Roether, A. Theocharis, N. Pinardi, A. Artegiani, A. Bergamasco, J. Bishop, S. Brenner, S. Christianidis, M. Gacic, D. Georgopoulus, M. Golnaraghi, M. Hausmann, H.-G. Junghaus, A. Lascaratos, M.A. Latif, W.G. Leslie, C.J. Lozano, T. Oguz, E. Ozsoy, E. Papageorgiou, E. Paschini, Z. Rozentroub, E. Sansone, P. Scarazzato, R. Schlitzer, G.C. Spezie, E. Tziperman, G. Zodiatis, L. Athanassiadou, M. Gerges & M. Osman. 1992. General circolation of the eastern Mediterranean. *Earth Science Reviews*, 32: 285-309.
- Saggiomo, V., G. Catalano & M. Ribera d'Alcala. 1990. Ossigeno disciolto. In: M. nnamorati, I. Ferrari, D. Marino & M. Ribera D'Alcala. (eds.), *Metodi nell'ecologia elplancton marino. Nova Thalassia*, Vol 11: 91-101.

**MISURE LAGRANGIANE
NELLA CORRENTE CIRCUMPOLARE ANTARTICA:
RISULTATI PRELIMINARI**

Giancarlo SPEZIE e Enrico ZAMBIANCHI

Istituto di Meteorologia e Oceanografia, Istituto Universitario Navale,
Corso Umberto I, 174, 80138 Napoli

ABSTRACT

In this paper we present preliminary results of the analysis of the first Lagrangian data gathered in the framework of the Italian National Research Programme on Antarctica (PNRA = Programma Nazionale di Ricerche in Antartide).

We analyze data taken by 6 WOCE-TOGA surface drifters deployed South of Tasmania in March 1994 from the R/V *Italica*.

After preprocessing, the data were utilized to characterize the mean flow in the Pacific sector of the Antarctic Circumpolar Current — in the area sampled by the instruments, namely 170° E to 150° W and 65° S to 45° S - March through August 1994.

Thereafter, we carried out a Lagrangian analysis of two sample drifter data, in order to clarify the distinction between two apparent flow regimes identified in the trajectory and in the pseudoeulerian mean field analysis. Turbulent velocity autocovariances and power spectra were computed, yielding results confirming the important role of bottom topography on the surface circulation in the studied area

1. INTRODUZIONE

Vista la fondamentale importanza rivestita dal ruolo degli oceani nella regolazione del clima e dell'ambiente sul nostro pianeta, all'interno del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA nel seguito) è stata identificata la necessita di istituire un programma scientifico autonomo interamente dedicate allo studio delle relazioni climatiche tra mare, ghiacci e atmosfera.

Sotto questo titolo più generale sono in corso di sviluppo studi focalizzati su tematiche inerenti alla dinamica oceanografica e agli scambi di calore tra le diverse componenti del sistema climatico antartico. Particolare enfasi è stata data agli studi di circolazione del Mare di Ross e più in generale del settore Pacifico della Corrente Circumpolare Antartica (CCA nel seguito), allo studio dei fronti termoclinici e del mescolamento in tali aree, ai flussi di calore e di energia (v. Commissione Polare CNR, 1991).

Per quanto riguarda i loro aspetti sperimentali, queste attività di ricerca sono state condotte, nel corso delle annuali missioni di ricerca in Antartide, utilizzando strumenti di misura sia euleriani sia lagrangiani.

L'uso di strumenti lagrangiani e particolarmente indicate nel caso in cui si vogliono investigare processi di mescolamento in presenza di fronti, flussi di calore e di momento tra masse d'acqua, oltre che quando si abbia necessita di caratterizzare il flusso medio a scala sinottica in vaste aree di mare (per una referenza generale, v. Davis, 1991).

In particolare, la loro estrema facilità di rilascio e di uso li rende gli strumenti ideali per lo studio di aree in cui le condizioni meteomarine rendano difficoltoso l'impiego dei convenzionali strumenti euleriani, quale è certamente il caso della CCA (come mostrato ad esempio in Daniault, 1984; Patterson, 1985; Peterson, 1985).

Nell'ambito del PNRA sono stati effettuati finora tre esperimenti lagrangiani: i primi due sono stati intrapresi nel corso della campagna di misure 1993-1994, e sono consistiti nel rilascio di 7 boe di superficie e di 5 boe derivanti sottosuperficiali, queste ultime posizionate a una profondità approssimativa di 900 m. L'anno successivo il set di strumenti è stato arricchito di altri 5 drifter. In questo lavoro presentiamo i risultati preliminari dell'elaborazione dei dati relativi alle 7 boe superficiali rilasciate dalla N/O Itlica al rientro dalla spedizione 1993-94. Dopo aver brevemente riepilogato, al paragrafo 2, le caratteristiche della CCA, passeremo a presentare al paragrafo 3 i risultati dell'analisi pseudoeuleriana condotta sull'intero data set, mentre nel paragrafo 4 verrà condotto e discusso un esempio di elaborazione squisitamente lagrangiana dei dati relativi a due boe campione. Il paragrafo 5, infine, è dedicato alle conclusioni.

2. BREVI CENNI SULLA DINAMICA DELLA CCA

L'area di mare immediatamente a Nord del continente antartico costituisce l'unica fascia di latitudine nell'oceano globale dove la circolazione zonale indotta dai venti prevalenti non incontra l'ostacolo creato dalla presenza delle barriere continentali. In altre parole, in questa fascia le acque sono libere di fluire in direzione zonale da Ovest verso Est in conseguenza dell'aggiustamento geostrofico agli effetti di trasporto alla Ekman dovuto ai venti che spirano sulla superficie del mare, ciò che costituisce essenzialmente la CCA.

Questa è in realtà una schematizzazione piuttosto rozza, perchè la circolazione nell'Oceano Meridionale si presenta come un sistema piuttosto complesso. Se da una parte la prevalente influenza del vento sulla dinamica sembra accertata, la mutua importanza tra questo forzante e quello termoclinico è ancora da chiarire in maniera del tutto soddisfacente. La stessa individuazione della CCA non è sempre univocamente ottenibile: le misure euleriane consentono di tracciare mappe di topografia dinamica dell'Oceano Meridionale (Gordon et al., 1978; Gordon & Molinelli, 1982), ma forse una determinazione più accurata dell'asse della corrente va ricercata utilizzando misure telerilevate euleriane (Fu & Chelton, 1984) o lagrangiane (Patterson, 1985). La CCA, inoltre, si presenta come un sistema di jet contenuti all'interno di una zona racchiusa tra i fronti subantartico e polare (Nowlin & Klinck, 1986; Gordon, 1988; a questi due lavori si rimanda per un'ampissima rassegna delle conoscenze sull'Oceano Meridionale dal punto di vista dell'oceanografia fisica, a completo aggiornamento di AHWGAO, 1974), all'interno del quale esiste una spiccata variabilità di mesoscala che si esplica in una quantità di strutture come eddy, ring, meandri (Lutjeharms & Baker, 1980).

Per quanto appena detto, è ovvio che la determinazione del trasporto associate alla CCA non può essere condotta nei settori di oceano aperto dove essa fluisce in maniera topologicamente complessa. Tradizionalmente, perciò, esso viene valutato al passaggio di Drake, strozzatura tra il continente sudamericano e quello antartico che costituisce un passaggio obbligato per le acque circumpolari. Il valore stabilito a partire dai dati della campagna di osservazione ISOS (International Southern Ocean Study, condotta negli anni '70) e considerato a tutt'oggi affidabile è di 125 Sv con una deviazione standard di 10 Sv.

Per concludere questi brevi cenni sulla CCA, va rilevato il ruolo fondamentale giocato dalla topografia del fondo sulla sua dinamica: valgano come esempio le corrispondenze tra isobate e isolinee di anomalie dinamiche presentate in Gordon et al. (1978). Su questi aspetti torneremo nel seguito di questo lavoro, e rimandiamo nuovamente a Gordon (1988) per una rassegna sugli studi focalizzati sulla variabilità superficiale indotta dalla interazione della CCA con la topografia del fondo.

3. PRESENTAZIONE E PREANALISI DEI DATI LAGRANGIANI

Come detto sopra, in questo lavoro presentiamo i risultati dell'elaborazione dei dati relativi alle boe superficiali messe a mare dalla N/O Itlica nel marzo 1994, al rientro dalla campagna di misure nel Mare di Ross. In quell'occasione furono rilasciate 7 boe derivanti di superficie modello standard WOCE-TOGA con vela sottosuperficiale di tipo holey sock, solo 6 delle quali hanno però trasmesso dati con regolarità. Si tratta di boe di disegno ormai standardizzato, le cui caratteristiche di risposta al trascinarsi dovuto alla corrente in prossimità della superficie piuttosto che al vento sono state valutate in maniera quantitativa, con risultati ritenuti del tutto soddisfacenti (Niiler et al., 1987). In particolare, si è deciso di ricorrere a questo tipo di disegno per poter mettere i risultati delle misure a disposizione della comunità internazionale afferente al progetto WOCE-TOGA, uno dei più importanti programmi di indagine dell'oceano globale attualmente operativi a livello internazionale.

Le boe sono equipaggiate per misurare e trasmettere valori di temperatura superficiale del mare. Tuttavia in questa prima elaborazione si sono esclusivamente presi in considerazione i dati di posizione delle boe stesse, forniti dal sistema ARGOS a intervalli irregolari corrispondenti a ciascun passaggio satellitare sulla zona di misura (mediamente 5-6 volte al giorno).

Il primo trattamento che si è perciò reso necessario è stato quello di interpolare le posizioni fornite dall'ARGOS su intervalli regolari. L'intervallo scelto inizialmente è stato di tre ore, per conservare il più possibile della risoluzione originale dei dati. In figura 1 mostriamo le traiettorie compiute dalle boe di superficie dal momento del rilascio a tutto il 31 agosto 1994. Come si può vedere, gli strumenti sono stati messi a mare lungo la rotta di rientro della nave Itlica verso la Nuova Zelanda.

Da un primo esame delle traiettorie è possibile notare delle irregolarità su scale spaziali e temporali inferiori a quelle del flusso di mesoscala, come si può vedere dall'ingrandimento del tragitto compiuto dalla boa 20758 tra 172 e 168 gradi di longitudine W e tra 60 e 58,5 di latitudine S mostrato alla figura 2. Queste apparenti irregolarità rappresentano il contributo della componente inerziale del moto, e sono bene evidenziate nell'analisi spettrale campione eseguita sulla stessa boa e presentata in figura 3. In questa figura si nota chiaramente come i dati di velocità ricavati dalle posizioni interpolate a tre ore presentino un picco per entrambe le componenti centrato su 0.6 giorni. Notiamo anche come proprio in corrispondenza di tale frequenza la coerenza tra le due componenti della velocità sia molto elevata e lo sfasamento di 90°. La frequenza inerziale teorica alla latitudine media della zona campionata dagli strumenti (55° S) risulta essere pari a 14,6 ore, in perfetto accordo con quanto mostrato dall'analisi spettrale sopra discussa. Si è pertanto deciso di effettuare un ulteriore filtraggio dei dati per eliminare gli effetti inerziali, e si è quindi passati all'analisi pseudoeuleriana dei dati a disposizione.

4. ANALISI PSEUDOEULERIANA

La cosiddetta analisi pseudoeuleriana consiste nella suddivisione dell'area di mare in cui sono disponibili dati in sottoregioni, all'interno delle quali la statistica possa essere considerata sostanzialmente omogenea. In ciascuna sottoregione, usualmente denominata bin, si calcola la velocità del flusso medio come la media delle misure di velocità ottenute al suo interno; i parametri della turbolenza sono valutati a partire dalla teoria di Taylor (1921). In particolare, la scala lagrangiana temporale e la diffusività sono stimati a partire da!!'integrate della funzione di autocorrelazione della velocità.

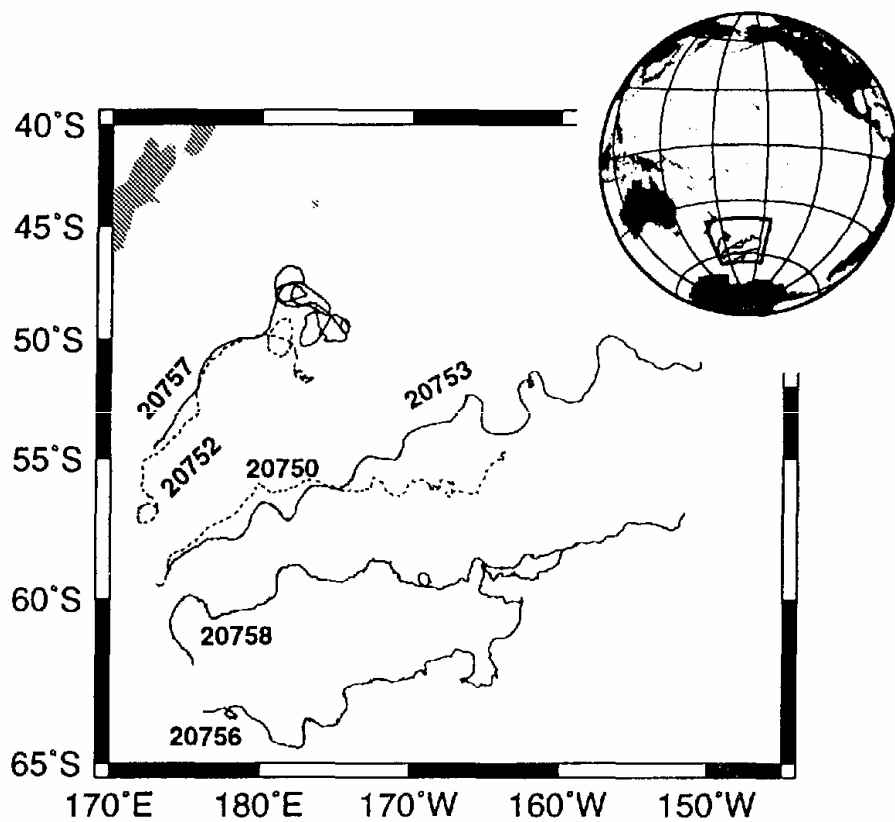


Fig. 1 - Traiettorie delle 6 boe di superficie esaminate in questo lavoro (dati relativi al periodo marzo-agosto 1994): le traiettorie tratteggiate si riferiscono alle boe esaminate in dettaglio nel seguito.

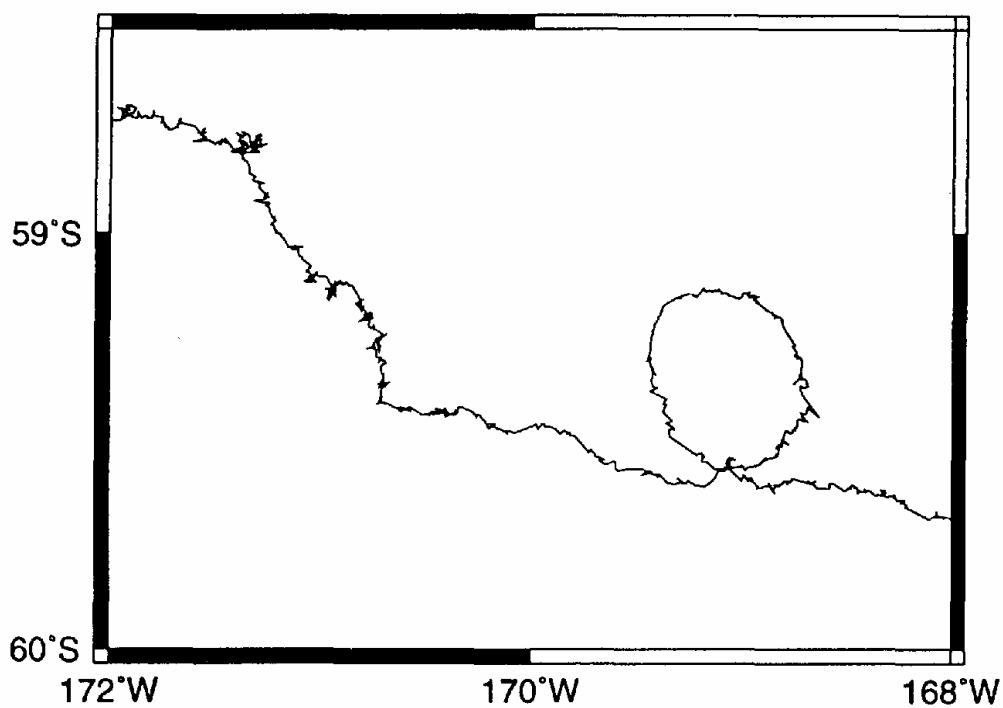


Fig. 2 - Ingrandimento parziale della traiettoria della boa 20758.

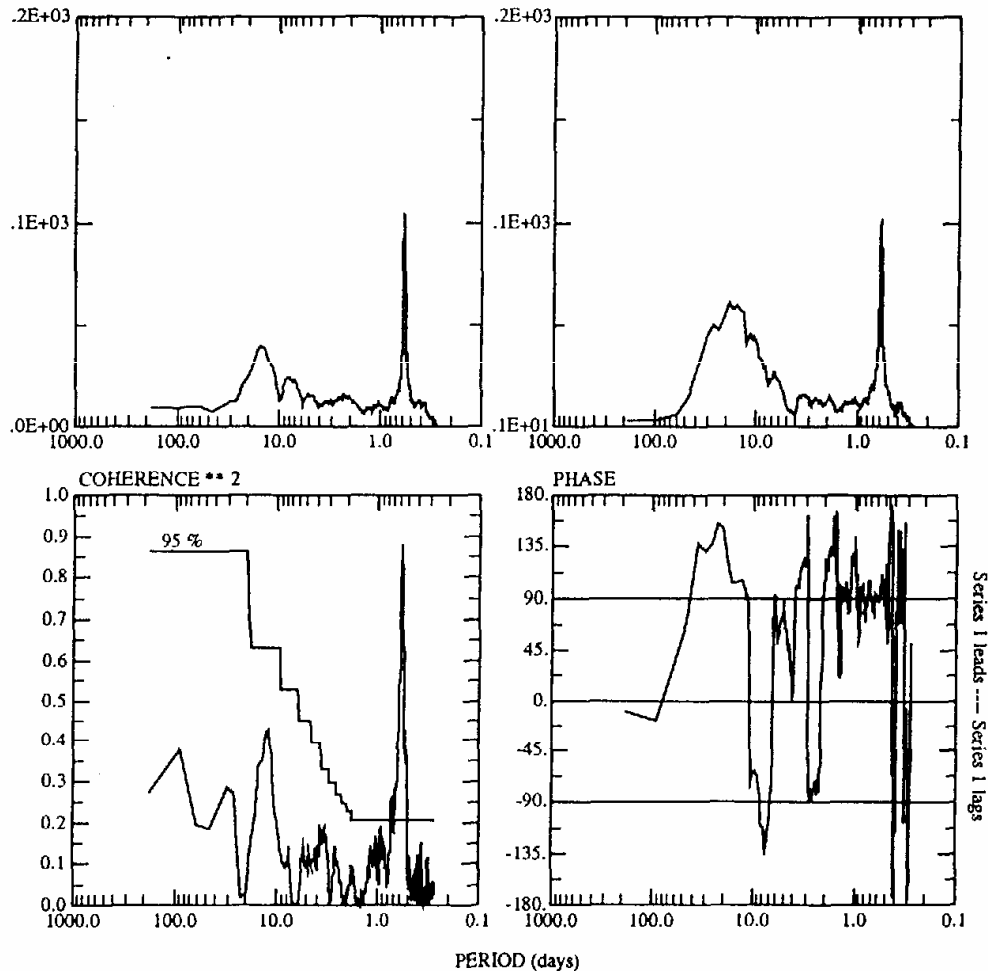


Fig. 3 - Analisi spettrale dei dati di velocità relativi alla boa 20758: sono rappresentati lo spettro della componente zonale della velocità (in alto a destra), quello della componente meridionale (in alto a sinistra), la coerenza (in basso a sinistra) e la fase (in basso a destra) tra le due componenti.

Questo tipo di analisi si è dimostrato generalmente efficace per la descrizione di aree di mare dalle caratteristiche turbolente sufficientemente omogenee (v. ancora Poulain & Niiler, 1989; Davis, 1991), mentre ovviamente in casi di alta inomogeneità e nonstazionarietà le ipotesi a priori su cui si fonda possono non essere verificate (Figueroa, 1994; Zambianchi & Griffa, 1994a).

Il dominio campionato dalle boe è stato dunque suddiviso in bin di 5 gradi di latitudine e 10 di longitudine, in modo da avere sottoaree approssimativamente quadrate di circa 550 km di lato. I risultati tuttavia non vanno al di là di una piuttosto generica descrizione di un flusso prevalentemente zonale da Ovest verso Est.

Si è perciò passati a risuddividere il dominio in bin di lato 2,5 gradi di latitudine e 5 di longitudine. Il risultato è mostrato in figura 4a. Va notato che il numero di osservazioni a 3 ore contenute in ogni bin è risultato almeno confrontabile con i valori minimi di significatività comunemente accettati in letteratura (50, ad esempio, secondo Poulain & Niiler, 1989). Come si può vedere, il flusso in questo caso è caratterizzato con molto

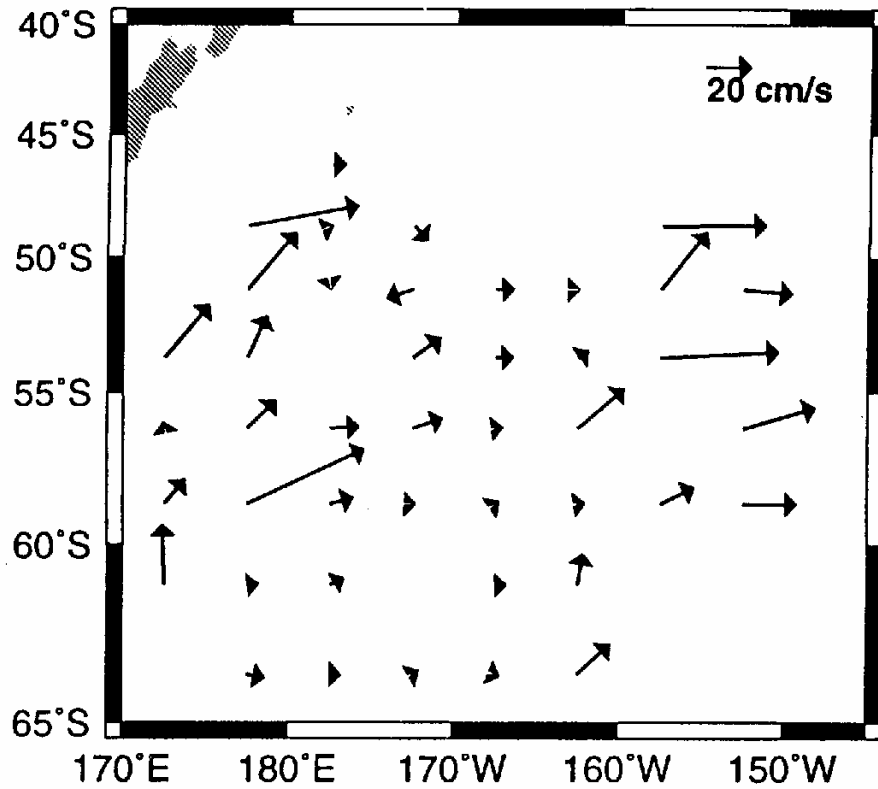


Fig. 4a - Campo medio di velocità ad alta risoluzione estratto dai dati delle boe.

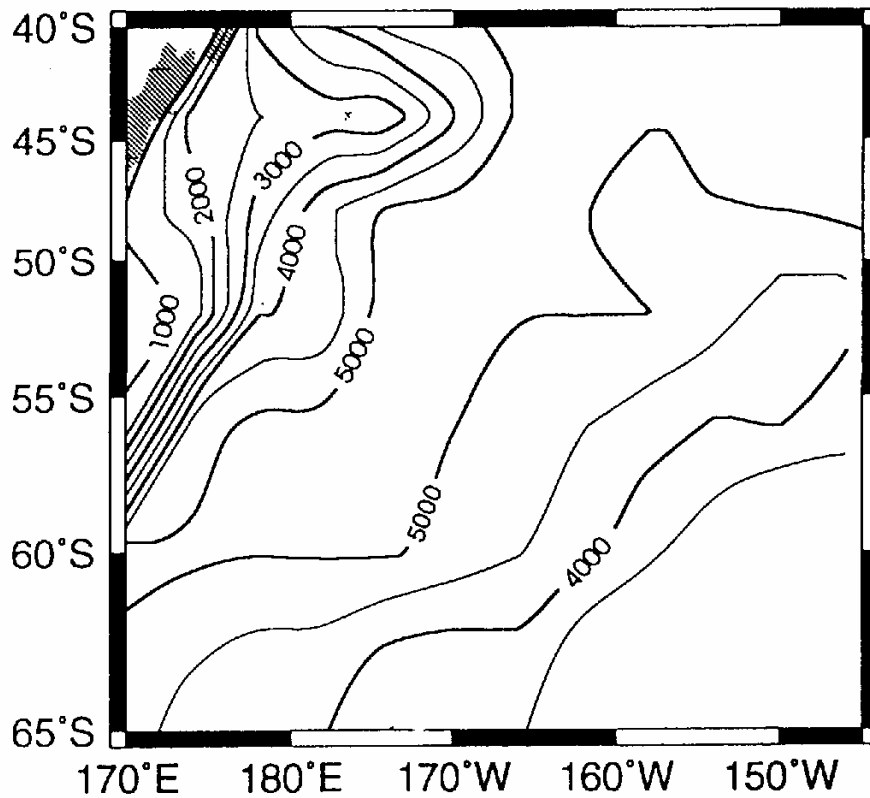


Fig. 4b - Batimetria schematica dell'area di mare in studio.

maggior dettaglio. In particolare, si nota una sorta di biforcazione all'estremo W della zona esaminata. Mentre il ramo più a Nord è presumibilmente influenzato dalla topografia del fondo, che proprio in corrispondenza dei massimi relativi di intensità del flusso presenta una scarpata continentale molto ripida (v. figura 4b, si ritornerà su questo nel paragrafo 4), il ramo più a Sud individua con tutta probabilità l'asse della CCA, che è possibile seguire longitudinalmente, benché in maniera un po' intermittente, praticamente al centro dell'area di mare considerata. Come si vede, pur disponendo di un numero molto esiguo di strumenti (si pensi, in confronto, alle oltre 300 boe messe a mare nel corso dell'esperimento FGGE, v. Garrett, 1980), la mappatura del flusso medio è più che soddisfacente, e i risultati sono in buon accordo con i risultati dei fondamentali studi di Gordon et al. (1978) e Gordon & Molinelli (1982), che si riferiscono a misure euleriane effettuate oltre vent'anni fa.

5. CARATTERIZZAZIONE DI DIVERSI REGIMI DI FLUSSO: UN ESEMPIO DI ANALISI LAGRANGIANA

In questo paragrafo esaminiamo brevemente le caratteristiche lagrangiane del campo di velocità campionato da due delle boe di superficie messe a mare nel corso dell'esperimento, che ci sembrano significative di due regimi di flusso piuttosto differenti.

Come accennato nel paragrafo 2, il flusso della CCA a Sud, Sud-Est del bacino australiano si divide sostanzialmente in due rami, mettendo in evidenza un forte stirring topografico indotto dalla presenza, a Nord, del Campbell Plateau, propaggine della piattaforma continentale delle isole della Tasmania; a Sud, della dorsale midoceanica, orientata in questa area in direzione zonale.

Nella regione compresa tra questi due rami il flusso medio è molto meno ben definito e questa area presenta prevalenti moti di mesoscala. In particolare, in figura 1 è possibile distinguere visivamente come le traiettorie delle due boe che seguono lo shelf della Tasmania (20752 e 20757) siano più rettilinee -- finché appunto seguono la topografia -- rispetto a quelle delle altre quattro, visibilmente dominate da meandri di scala tipica intorno ai 100 km.

Per mettere in rilievo i due diversi regimi di flusso campionato dai drifter, abbiamo calcolato l'autocorrelazione delle velocità turbolente zonali e meridionali interpolate a 24 ore per la boa 20752 (figura 5a) e per la 20750 (figura 5b).

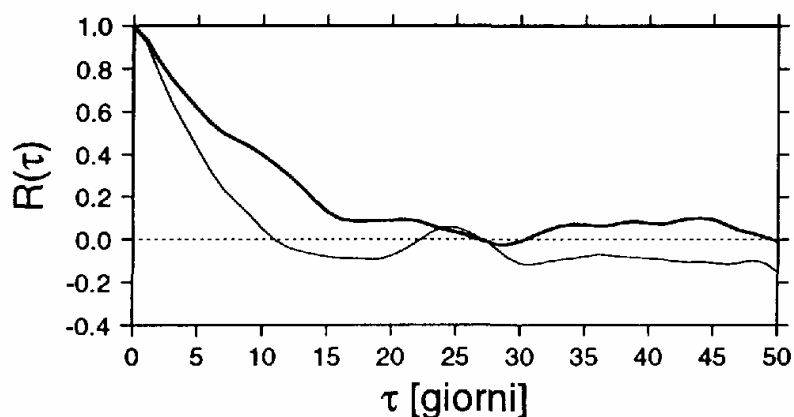


Fig. 5a - Autocorrelazione della velocità turbolenta zonale (linea sottile) e meridionale (linea marcata) della boa 20752.

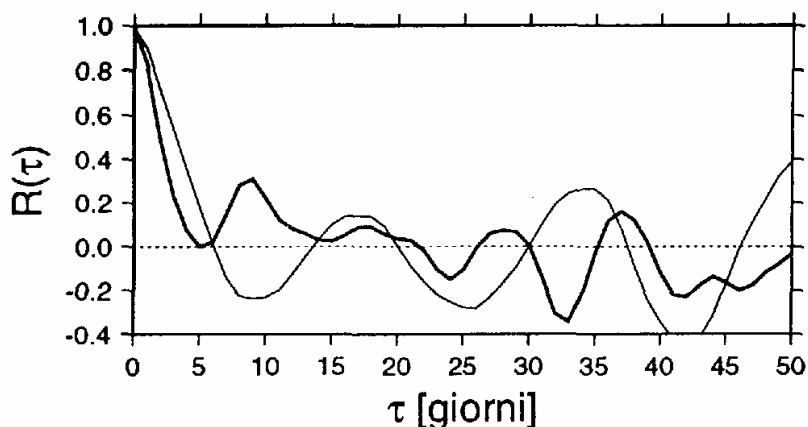


Fig. 5b - Autocorrelazione della velocità turbolenta zonale (linea sottile) e meridionale (linea marcata) della boa 20750.

La forma teorica attesa dell'autocovarianza della velocità in un campo dominato da turbolenza omogenea è stata oggetto di molte ricerche. L'esame di dati lagrangiani relativi all'oceano superficiale (Colin de Verdière, 1983; Krauss & Boning, 1987; Zambianchi & Griffa, 1994b) suggerisce che in tali condizioni è appropriato un modello di tipo random flight, che descrive l'evoluzione della velocità turbolenta tramite un'equazione di Langevin (Zambianchi & Griffa, 1994a). A questo tipo di processo stocastico corrisponde una funzione di autocorrelazione dalla forma esponenziale decrescente, o, equivalentemente, uno spettro di potenza — che dell'autocovarianza e la trasformata di Fourier — bianco per basse frequenze e decrescente come w^{-2} a quelle relative alla turbolenza di mesoscala.

La presenza di moti coerenti a scale confrontabili con quelle oggetto dell'indagine, o più in generale di disomogeneità forti del campo turbolento, provoca distorsioni di questa forma dell'autocovarianza (Rupolo et al., 1995). Meandri o strutture coerenti inducono oscillazioni più o meno irregolari sovrapposte alla forma decrescente esponenziale. Per quanto riguarda lo spettro di potenza, in questi casi si rileva un irripidimento della pendenza dovuto alla presenza di strutture fortemente energetiche alle frequenze tipiche della mesoscala (Mc Williams, 1984). Una determinazione quantitativa di questi ultimi effetti, tuttavia, è compito tutt'altro che banale, e va oltre gli scopi di questo lavoro.

Alla luce di quanto sopra discusso, il confronto tra le due coppie di funzioni presentate in figura 5a e 5b è istruttivo: le autocovarianze relative alla boa 20752 esibiscono infatti un andamento simile a un esponenziale decrescente. Per quanto riguarda la boa 20750, le autocovarianze sono molto meno regolari. In figura 6a e 6b, infine, presentiamo gli spettri di potenza relativi ai dati delle stesse boe: gli spettri in figura 6a esibiscono il comportamento teorico atteso, mentre quelli spettri in figura 6b mostrano con chiarezza una pendenza superiore a quella teorica per il caso omogeneo.

6. CONCLUSIONI

In questo lavoro abbiamo presentato i risultati preliminari dell'elaborazione dei primi dati lagrangiani acquisiti nel corso delle campagne di misure del PNRA. Sono stati presi in esame dati relativi ai primi 6 mesi di trasmissione di 6 boe di superficie messe a mare a Sud-Est della Tasmania agli inizi di marzo 1994. Dopo una prima preelaborazione, i dati di velocità ogni 24 ore ottenuti a partire dalle posizioni rilevate dal sistema ARGOS sono stati utilizzati per la determinazione pseudo-euleriana del flusso medio nella zona in esame.

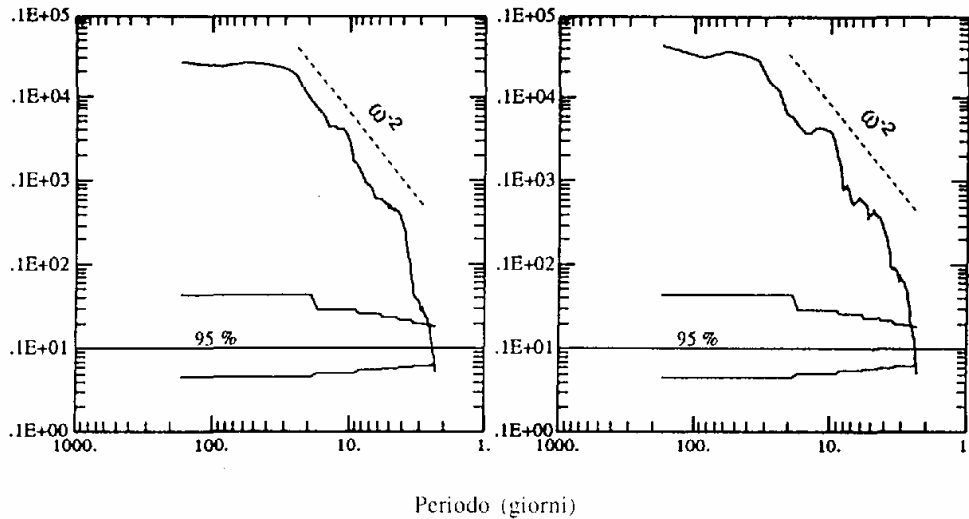


Fig. 6a - Spettro della velocità turbolenta zonale (pannello di sinistra) e meridionale (pannello di destra) della boa 20752.

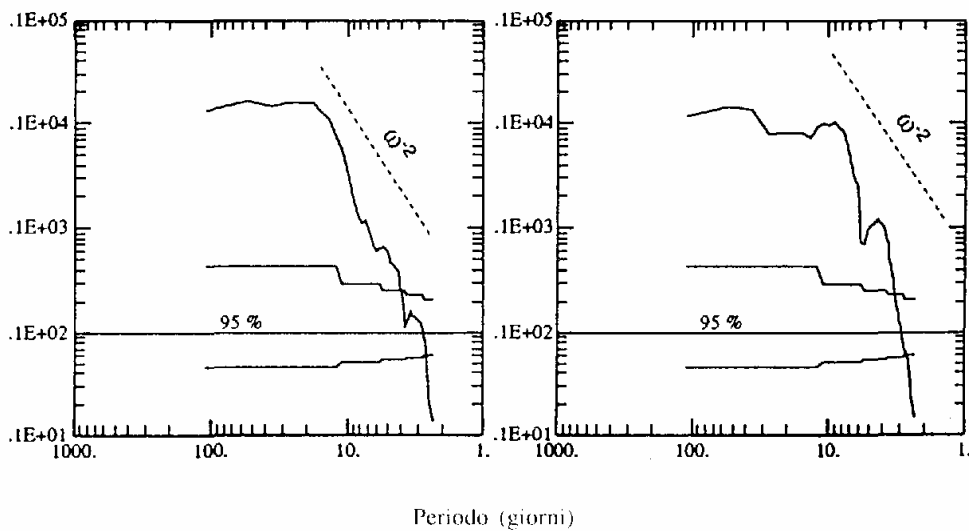


Fig. 6b - Spettro della velocità turbolenta zonale (pannello di sinistra) e meridionale (pannello di destra) della boa 20750.

Il campo medio di velocità è stato caratterizzato in maniera soddisfacente, pur disponendo di un esiguo numero di strumenti; i risultati si sono trovati in ottimo accordo con quelli disponibili in letteratura, derivati da data set sia euleriani sia lagrangiani. Tra l'altro, nell'area oggetto di studio si è rilevata l'importanza della topografia del fondo, e si sono identificati regimi di flusso piuttosto differenti, proprio in relazione a fenomeni di stirring topografico.

La conferma di questa distinzione tra regimi diversi è stata fornita dall'analisi squisitamente lagrangiana dei dati a disposizione: l'analisi spettrale e dell'autocovarianza;

del campo di velocità turbolento di una prima boa campione ha confermato in termini quantitativi l'accordo del comportamento in presenza di turbolenza omogenea con un modello di random flight. La presenza di moti strutturati è stata anch'essa caratterizzata, seppure soltanto a livello qualitative, a partire dalla medesima analisi effettuata sui dati relativi a una seconda boa messa a mare nel corso della stessa campagna di misure.

BIBLIOGRAFIA

- Ad Hoc Working Group on Antarctic Oceanography. 1974. Southern Ocean Dynamics: A Strategy for Scientific Exploration, 1973-1983. *Natl. Acad. Sciences Rep.*, Washington D.C.
- Colin de Verdiere, A. 1983. Lagrangian Eddy Statistics from Surface Drifters in the Eastern North Atlantic. *J. Marine Res.*, 41: 375-498.
- Commissione Polare CNR. 1991. Contributo della Commissione per il Coordinamento della Ricerca Scientifica Polare alla formulazione del nuovo programma quinquennale di ricerche in Antartide 1992-1996. *Ambiente Antartide*, num. sp. Novembre 1991.
- Daniault, N. 1984. Circulation Oceanique Antarctique - Bouees Derivantes et Satellites. *Met. Mar.*, 1: 1-16.
- Davis, R.E. 1991. Observing the General Circulation with Floats. *Deep-Sea Res.*, 38: S531- S571.
- Figueroa, H.A. 1994. Eddy Resolution vs Eddy Diffusion in a Double Gyre G.C.M. Part 2: Mixing of Passive Tracers. *J. Phys. Oceanogr.*, 24: 387-397.
- Fu, L.-L. & D.B. Chelton. 1984. Temporal Variability of the Antarctic Circumpolar Current Observed from Satellite Altimetry. *Science*^ 226: 343-346.
- Garrett, J.F. 1980. The Availability of the FGGE Buoy System Data Set. *Deep-Sea Res.*, 27A: 1083-1086.
- Gordon, A.L. 1988. Spatial and Temporal Variability Within the Southern Ocean. In: Antarctic Ocean and Resources Variability (D. Sahrledge Ed.), Springer Verlag: 42-56.
- Gordon, A.L. & E. Molinelli. 1982. Southern Ocean Atlas, Columbia University Press.
- Gordon, A.L., E. Molinelli & T. Baker. 1978. Large-Scale Relative Dynamic Topography of the Southern Ocean. *J. Geophys. Res.*, 83, C6: 3023-3032.
- Krauss, W. & C.W. Boning. 1987. Lagrangian Properties of Eddy Fields in the Northern Atlantic as Deduced from Satellite-Tracked Buoys. *J. Marine. Res.*, 45: 259-291.
- Lutjeharms J.R.E. & D.J. Baker. 1980. A Statistical Analysis of the Meso-Scale Dynamics of the Southern Ocean. *Deep-Sea Res.*, 21 A: 145-159.
- McWilliams, J.C. 1984. The Emergence of Coherent Vortices in Turbulent Flow. *J. Fluid Mech.*, 146:21-43.
- Niiler, P.P., R.E. Davis & H.J. White. 1987. Water-Following Characteristics of a Mixed Layer Drifter. *Deep-Sea Res.*, 34: 1867-1882.
- Nowlin, W.D. & J.M. Klinck. 1986. The Physics of the Antarctic Circumpolar Current. *Rev. Geophysics*, 24, 3: 469-491.
- Patterson, S.L. 1985. Surface Circulation and Kinetic Energy Distribution in the Southern Hemisphere Oceans from FGGE Buoys. *J. Phys. Oceanogr.*, 15: 865- 884.
- Peterson, R.G. 1985. Drifter Trajectories Through a Current Meter Array at Drake Passage. *J. Geophys. Res.*, 90, C3: 4883-4893.

- Poulain, P.M. & P.P. Niiler. 1989. Statistical Analysis of the Surface Circulation in the California Current System Using Satellite-Tracked Drifters. *J. Phys. Oceanogr.*, 19: 1588-1603.
- Rupolo, V., V. Artale, B.L. Hua & A. Provenzale. 1995. Lagrangian Velocity Spectra at 700 m in the Western North Atlantic and at the Surface in the Tyrrhenian Sea. manoscritto in preparazione.
- Taylor, G.I. 1921. Diffusion by Continuous Movements. *Proc. Land. Math. Soc.*, 20: 196-212.
- Zambianchi, E. & A. Griffa. 1994a. Effects of Finite Scale Turbulence on Dispersion Estimates. *J. Marine Res.*, 52: 129-148.
- Zambianchi, E. & A. Griffa. 1994b. Applicability of a Stochastic Model for Particle Motion to Drifter Data in the Brazil/Malvinas Extension. *Annali Ist. Univ. Navale*, LXI: 75-90.

PRE- vs POST-SETTLEMENT EVENTS IN THE SOFT SEDIMENT SYSTEMS: PRELIMINARY OBSERVATIONS OF A POLYCHAETE COMMUNITY

Simonetta FRASCHETTI

Istituto per la Corrosione Marina dei Metalli, CNR, Area di Ricerca di Genova, Via dei
Marini 6, Torre di Francia, 16149 Genova

ABSTRACT

Debate over the relative importance of larval availability (pre-settlement events) compared with post-settlement processes in structuring population and community has characterized the literature on rocky intertidal organisms and coral reef fishes for the past decade. In the present paper, the same question is applied to marine soft-sediment systems taking into account a preliminary analysis of data collected in the Ligurian Sea.

RIASSUNTO

Il dibattito sull'importanza relativa di disponibilità larvale (pre-settlement events) e dei processi di post-insediamento nello strutturare popolazioni e comunità ha caratterizzato la letteratura degli ultimi dieci anni relativamente agli organismi di fondo duro intertidale ed ai pesci delle barriere coralline. In questo lavoro, la discussione è riportata al sistema fondi mobili prendendo in considerazione un'analisi preliminare di dati raccolti in Mar Ligure.

1. INTRODUCTION

The concept of *recruitment limitation* describes the sum of pre- and post-settlement events relative to larvae and just settled individuals, able to affect the structure of the adult population.

Over the past ten to fifteen years, our understandings of the processes that structure marine communities has been substantially altered by improved appreciation of the role of pre-settlement events by largely planktonic larvae to benthic habitats. Especially on hard substrata, the recognition that recruitment can, and sometimes does, determine patterns of adult population abundance and thereby also community composition has forced substantive reconsideration of earlier models of population and community regulation (Underwood & Fairweather, 1989; Sale, 1990). Within this framework, the *supply side ecology* has been coined as a term to describe recent advances relative to the export and import of larvae and their effects on local community: the maintenance of a local population is independent of local reproductive success by

itself, but depends on larval supplies from other populations. Variation in larval settlement leads directly to variation in adult population size, so stressing the importance of the pre-settlement events. It denotes an old idea in marine benthic research (Thorson, 1950) that has recently been re-evaluated.

Despite over a century of research on the larval ecology of soft-sediment marine invertebrates and major recent advances in our understanding of how physical hydrodynamics of bottom boundary layers influences larval settlement (Butman, 1987) just few studies on marine soft sediment systems have tried to understand if, within the recruitment limitation, pre-settlement events are more important of the post-ones in dictating population and community structure (Menge & Sutherland, 1987; Osman et al., 1989; Fogarty et al., 1991; Bachelet et al., 1992; Chardy & Dauvin, 1992; Olafsson et al., 1994; Bonsdroff et al., in press). From an experimental point of view, large difficulties arise in quantitatively assessing coupling between different life-history phases, because the transition between habitats prior to attain macrofaunal size includes many important but poorly-known events in the life-histories of larvae and juveniles (Hadfield, 1986; Woodin, 1986; Morse, 1991; Feller et al., 1992). As a consequence, quantitative studies on soft bottoms are still extremely scant (Bachelet, 1986; Mathivaux-Lallier & Cazaux, 1989; Dauvin, 1990; Armonies & Hellwing-Armonies, 1992), especially in the Mediterranean basin (Guerin & Masse, 1976-78; Cattaneo & Masse, 1983; Albertelli et al., 1994a e 1994b; Frascchetti et al., in press; Danovaro et al., in press). A review of the literature relating population variability to reproductive mode in soft-sediment marine environments did not provide compelling support for the hypothesis that planktotrophic species have more variable adult population size (Olafsson et al., 1994). Attempts to find a correspondence between planktonic larval, meiofaunal and macrofaunal abundance gave controversial results (Feller et al., 1992); one of the largest settlements of *Mya arenaria* ever recorded did not coincide with observed high abundance of planktonic larvae (Powell et al., 1984). One population of the bivalve *Macoma baltica* that received consistently higher settlement nonetheless maintained a much lower adult population size. Also the correspondence between meiofaunal and macrofaunal abundance seems to be particularly poor (Osman et al., 1989; Bachelet et al., 1992). Recent studies have focused on the possible role exerted by the permanent meiofauna as a filter between the temporary meiofauna and the macrofauna in benthic systems (Zobrist & Coull, 1992; Danovaro et al., in press): when macrofauna larvae and juveniles recruit into the benthos, they are in the same size category as the meiofauna. The results seem to stress the importance of the post-settlement events in imposing a variable mortality on new arrivals to the bottom as they grow to macrofaunal size, lending support to the concept of the *meiofaunal bottleneck* espoused by Bell and Coull (1980).

This general ideas are further analysed taking into account a preliminary analyses of data collected in the Ligurian Sea.

2. MATERIAL AND METHODS

The study site is in the Marconi Gulf (Ligurian Sea, north-western Mediterranean Sea) on a sandy bottom at 10 m depth (Fig. 1). Monthly samples were carried out from January 1991 to February 1993. Temporary meiofauna was collected in PVC sediment

corers (diameter 6.0 cm, 28.5 cm², 12 cm depth) on four replicates. Macrofauna was collected using a suction device, on eight replicates (each replicate sample had an area of 0.1 m², and a depth of 20 cm), using a 1 mm mesh size.

The temporary meiofauna samples were fixed with 4 % formaldehyde in sea water solution. Sediments were sieved through 1 mm and 80 mm meshes after decantation. Juveniles of polychaetes were counted and classified under a stereo microscope after being stained with Rose Bengal (0.5 g H). The macrofauna analyses samples were fixed with 10 % formaldehyde in sea water solution. Polychaetes were sorted, counted and classified under a stereo microscope after being stained with Rose Bengal (0.5 g l⁻¹).

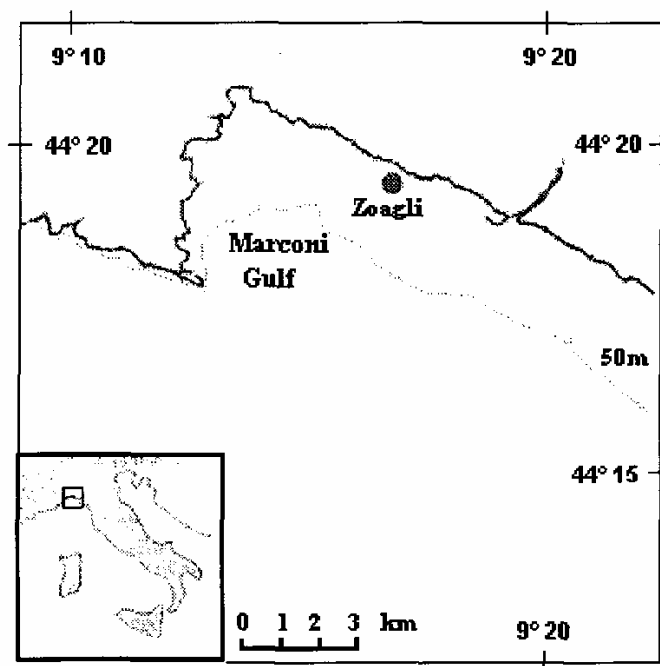


Fig. 1 - The sampling station in the Gulf of Marconi (north-western Mediterranean Sea).

3. RESULTS

A total of 106 species were collected, with 2125 individuals m⁻² belonging to 85 taxa in polychaete macrofauna samples, and 147000 m⁻² individuals belonging to 54 taxa in polychaete temporary meiofauna samples.

Fig. 2 shows the trends of abundances of the two life-history categories: despite year-to-year variability in the estimated abundance, the polychaetes of macrofauna were characterized by period of higher densities at the onset of spring. During the second year, the community exhibited more evident seasonal variations. As a whole, the average density showed just a slight increase up to the end of the studied period (from 80 individuals m⁻², ± 34 , up to 98, ± 63).

Temporary meiofauna showed a considerable increase over the studied period, going from an average of 4 individuals 10 cm^2 , ± 2.5 , up to 8, ± 5.5 . During 1992 and the beginning of 1993, two peaks in cold seasons were observed (February 1992: 19.3 individuals 10 cm^2 , ± 6.5 ; December: 14.1 ind. $10\text{ cm}^2 \pm 7.2$).

A lack of correlation between the abundance of the two life-history categories was observed (Spearman rank correlation, $p < 0.05$), but a possible link between the recruitment and the appearance in macrofauna samples, without a statistic confirmation, was recognized in the second year, with a time lag of about 2 months. The number of species of polychaetes belonging to macrofauna is slightly higher in 1991, while that of meiofauna showed a rather increasing trend (Fig. 3).

The most abundant macrofaunal species were *Scolaricia typica*, *Nephtys cirrosa*, *Paradoneis armata*, *Spio decoratus*, *Prionospio caspersi* and *Dispio uncinata*, which by themselves represented the 57 % of the total collected individuals, being always present over the sampling period. Rare species such as *Aricidea simonae*, *A. cerruti*, *A. catherinae*, and *Notomastus latericeus*, were collected only during 1991, whereas, *Paraonis fulgens*, *Streptosyllis websteri* and *Mediomastus capensis* were collected only during 1992. *Prionospio caspersi*, *Onuphis falesia* and *Sthenelais limicola* decreased in abundance along the studied period; by contrast, *Glycera celtica*, *S. decoratus*, *Caulleriella alata* and *Schistomeringos neglecta* showed an increasing trend.

The most abundant meiofaunal species were *Streptosyllis websteri*, *S. decoratus*, *P. caspersi*, and *Lumbrineris* juv., and in this case this bulk of species represented the 65 % of the total. Most of the rare species appeared during 1992. In addition, *S. websteri* and *S. decoratus* increased in abundance during this year as occurred in the macrofauna compartment.

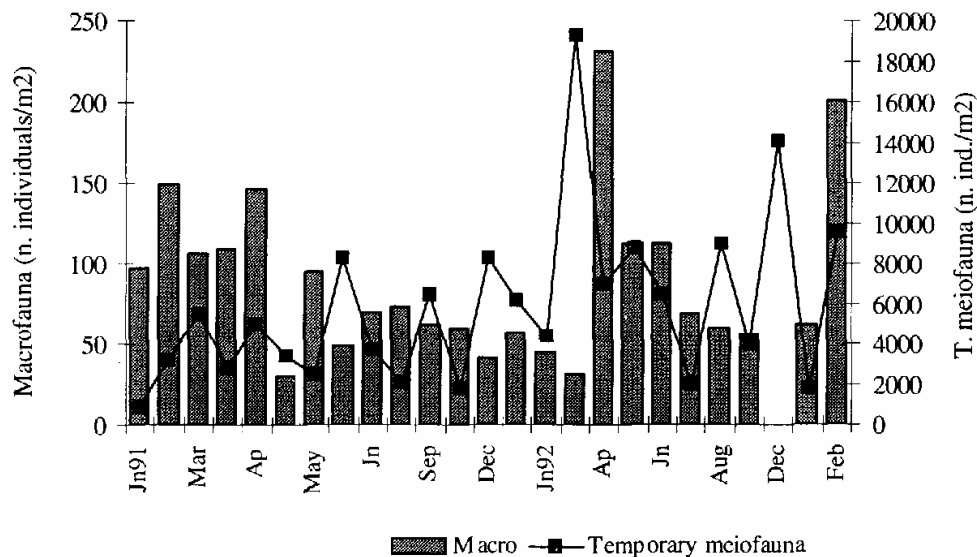


Fig. 2 - Trend of abundance of polychaetes belonging to macrofauna (individuals m^2) and temporary meiofauna (individuals m^2) during the studied period.

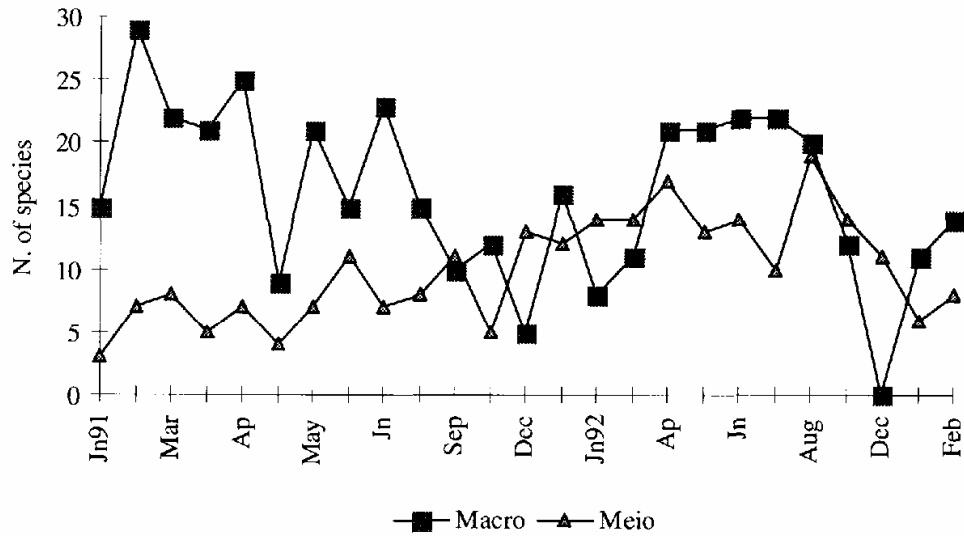


Fig. 3 - Trend of species number of polychaetes belonging to macrofauna and temporary meiofauna during the studied period.

Some species (24%) such as *Brania sp.*, *Microphthalmus similis*, *Parapionosyllis elegans*, *P. labronica* and *Schroederella laubieri*, typical of meiofaunal habitat, were present only in meiofaunal samples.

Lastly, the 60 % of the species collected in macrofauna samples was never found in meiofauna samples.

Of the total, just the 23 % of the species were collected in both compartments.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The polychaete community belonging to the macrofauna showed a relative structural stability, being characterized by a bulk of species (*S. typica*, *N. cirrosa*, *P. armata*, and *D. uncinata*) representing by themselves about the 40 % of the community and always present during the whole studied period. The year-to-year qualitative variability observed within the community was mostly determined by the appearance or disappearance of rare species (Fraschetti et al., in press). Recruitment affects the macrofaunal community in terms of annual variation associated with the annual input of juveniles, determining the macrofauna spring peak.

The temporary meiofauna was also characterized by a relative structural stability. The major input of juvenile forms occurred mainly in spring, usually the best period for the settlement of macrofauna at temperate latitudes, but high densities of juveniles were registered overall the studied period. From a quantitative point of view, a possible temporal correspondence between the two life-history phases in term of annual

fluctuations in abundance was observed during the second sampling period, with a low percentage of species in common.

The *stock-recruitment* problem (Feller et al., 1992), a lack of predictable correspondence between larval-juvenile and adult abundances, has already been stressed as a reconsideration of the *Thorson hypothesis*. For instance, the more important input of juveniles registered during the second year in meiofaunal compartment did not correspond to a significant increase in abundance of the macrofauna.

Despite the relatively high intensities of recruitment observed, very high mortality rates were estimated in the species passing from meio- to macrofauna. For these species the difference between the density peak of juveniles and the following density peak of adults always exceeded 90%, and the ratio macrofauna : meiofauna was 1 : 70. As a consequence, macrofauna mean density is low if compared with those from areas at the same latitude and with the same grain size (Masse, 1972; Ambrogi et al., 1990). Post-settlement events obviously impose a variable mortality on new arrivals to the bottom as they grow to macrofaunal size. As already stressed by some Authors (Osman et al., 1989; Olafsson et al., 1994), this preliminary analysis should indicate that, within recruitment limitation, post-settlements events more than *larval-availability* lead the structure, dynamics and regulation of populations. Numerous physical and biological factors acting subsequently to settlement may be important in the determination of community structure. However, the measures of juvenile abundances reported to square meters are only snapshots performed to compare the two data sets and have to be considered with caution.

Benthic assemblages are probably more than a simple function of larval availability as supposed by the *supply side ecology* (Gaines & Roughgarden, 1985). Areas along a coast can differ in the number of recruits not only as a results of variations in the supply of larvae, but also from the disparate effects of settlement and post-settlement events affecting mortality and growth. Processes affecting actual settlement and juvenile life-stages can have a disproportionate effect on eventual adult population densities.

Several factors are considered as important in determining the mortality of juveniles: temperature (Levin & Creed, 1986), food availability (Tenore & Chesney, 1985), predation (Keough & Downes, 1982) and intraspecific competition (Woodin, 1986). No abnormal temperature values were recorded during the sampling period, whereas oligotrophy, demonstrated by several studies conducted at this station (Fabiano, 1984; Fabiano et al., 1984; Albertelli & Cattaneo, 1985; Albertelli & Fabiano, 1990; Albertelli & Frascchetti, 1992; Danovaro, 1993; Frascchetti, 1994; Fabiano et al., 1995), could be responsible for the high mortality observed in the temporary meiofauna, so determining the low macrofauna density. The *trophic factor*, quantity and quality of the available food, has been demonstrated to have a primary role in the growth regulation of polychaete post-larvae (Tenore & Chesney, 1985). For instance, in this area, Danovaro (1993) showed that both bivalves and polychaetes were associated with high quantities of sediment organic matter. Anyway, besides the seasonality observed in quantity and composition of sediment organic matter, during the studied period the bulk of the organic carbon did not appear to change significantly (Fabiano et al., 1995).

Some other mechanism, besides food availability, could be involved in the regulation of the meio-macrofauna passage. The high mortality of recruits could be linked also to predation by permanent meiofauna: turbellarians and predatory nematodes, characterised by very high density in the studied area (Danovaro, 1993), could have exerted, particularly in spring, a significant impact on the density of macrofauna juveniles. However, any conclusion seems to be difficult to draw even though other studies were able to correlate the abundance of macrofauna juveniles to the *real* meiofauna itself (Danovaro et al., in press). If the selective predation does exist, it reconciles with the *bottleneck hypothesis* (Bell & Coull, 1980; Zobrist & Coull, 1992) and the result is a modification of the structure of the macrofaunal community. This assumption, however, is the result of inference based on the link between the abundance of predators and the decrease in preys, but is still to be substantiated by direct studies on the diets of meiofaunal predators, to actually ascertain their feeding habits and measure their impact on prey populations.

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support was given by the 40 % M.U.R.S.T. programs "Ecosistemi marini e delle acque interne" (Prof. N. Delia Croce) and "Ecologia del sistema marino costiero: biocenosi delle sabbie fini ben calibrate" (Prof. G. Albertelli).

REFERENCES

- Albertelli, G. & M.R. Cattaneo. 1985. Macrobenthos dei fondi molli del Mar Ligure. *Atti VI A.I.O.L., Livorno*, 12-14 April 1984: 87-98.
- Albertelli, G., M.C. Chiantore & S. Frascchetti. 1994a. A one year study of a sandy bottom community: seasonal fluctuations compared to a previous sampling period. *Atti X A.I.O.L.*, 3-6 November 1992: 529-542.
- Albertelli, G., A. Covazzi & S. Frascchetti. 1994b. Population dynamics, biomass and production of the bivale *Spisula subtruncata* (da Costa) in the Ligurian Sea. *Atti X A.I.O.L.*, 3-6 November 1992: 189-200.
- Albertelli, G. & M. Fabiano. 1990. Caratteristiche trofiche di una stazione costiera in Mar Ligure. *Atti VIII A.I.O.L., Pallanza*, 1-3 June 1988: 59-66.
- Albertelli, G. & S. Frascchetti. 1992. Observations on the structure of three communities of the continental shelf in the Ligurian Sea. *Atti IX A.I.O.L., S. Margherita Ligure*, 20-23 November 1990.
- Ambrogi, R., D. Bedulli & G. Zurlini. 1990. Spatial and temporal patterns in structure of macrobenthic assemblages. A three-year study in the northern Adriatic Sea. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol.*, 11 (1): 25-41.
- Armonies, W. & M. Hellwig-Armonies. 1992. Passive settlement of *Macoma balthica* spat on tidal flats of the Wadden Sea and subsequent migration of juveniles. *Neth. Journal of Sea Res.*, 29 (4): 371-378.

- Bachelet, G. 1986. Recruitment and year-to-year variability in a population of *Macoma baltica* (L.). *Hydrobiologia*, 142: 233-248.
- Bachelet, G., J. Guillou & P.J. Labourg. 1992. Adult-larval and juvenile interactions in the suspension-feeding bivalve, *Cerastoderma edule* (L.): field observations and experiments. *Atti 25th E.M.B.S.*, 10-15 September 1990, Ferrara: 175-182.
- Bell, S.S. & B.C. Coull. 1980. Experimental evidence for a model of juvenile macrofauna-meiofauna interactions. In: *Marine benthic dynamics* (K.R. Tenore & B.C. Coull, Eds.). Univ. South Carolina Press, Columbia: 179-192.
- Bonsdroff, E., A. Norkko & C. Bostrom. In press. Recruitment and population maintenance of the bivalve *Macoma balthica* (L.) - factors affecting settling success and early survival on shallow sandy bottoms. *Atti 28th E.M.B.S.*, Hersonissos, Crete, Greece, September 1993.
- Butman, C.A. 1987. Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scale of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes. *Oceanogr. and Mar. Biol: an Annual Review*, 25: 113-165.
- Cattaneo, M. & H. Masse. 1983. Importance du recrutement de *Spisula subtruncata* (da Costa) sur la structure et les fluctuations d'un peuplement benthique. *Oceanol. Acta*, n° Sp., *Atti 17° E.M.B.S.*, Brest: 63-67.
- Chardy, P. & J.C. Dauvin. 1992. Carbon flows in a subtidal fine sand community from the western English Channel: a simulation analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 81: 147-161.
- Danovaro, R. 1993. Analisi della dinamica e della struttura trofica di comunità meiobentoniche in relazione al contenuto ed alla composizione della sostanza organica particellata (Mar Ligure). PhD Thesis in Environmental Sciences, Marine Ecology, Università di Pisa: 245 p.
- Danovaro, R., S. Fraschetti, A. Belgrano, M. Vinx, M. Curini Galletti, G. Albertelli & M. Fabiano. In press. The potential impact of meiofauna on the recruitment of macrobenthos in a subtidal coastal benthic community of the Ligurian Sea northwestern Mediterranean): a field result. *Atti XXVIII E.M.B.S.*, 23-28 september 1993, Creta.
- Dauvin, J.C. 1990. Recrutement meiobenthique des principales espèces de Polychetes et de Mollusques Bivalves d'un peuplement subtidal de sédiments fins de la Manche occidentale. *Cah. Bio. Mar.*, 31: 201-224.
- Fabiano, M. 1984. Production of the Ligurian coastal waters. II. Primary production. *Atti Accad. Lig. Sci. Lett.*, 29 (5): 209-210.
- Fabiano, M., R. Danovaro & S. Fraschetti. 1995. A three-year time series of the elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (north-western Mediterranean). *Cont. Shelf Res.*, 15, 11/12: 1453-1469.
- Fabiano, M., M. Zavattarelli & S. Palmero. 1984. Observations sur la matière organique particulaire en Mer Ligure (Chlorophylle, protéines, glucides, lipides). *Tethys*, 11 (2): 133-140.

- Feller, R.J., S.E. Stancyk, B.C. Coull & D.G. Edwards. 1992. Recruitment of polychaetes and bivalves: long term assessment of predictability in a soft-bottom habitat. *Mar. Ecol. Prog. Series*, 87: 227-238.
- Fogarty, M.J., M.P. Sissenwine & E.B. Cohen. 1991. Recruitment variability and dynamics of exploited marine populations. *TREE*, 6 (8): 241-246.
- Fraschetti, S. 1994. Ruolo del reclutamento e della disponibilità alimentare nelle fluttuazione del macrobenthos. PhD Thesis in Environmental Sciences, Università di Genova: 106 p.
- Fraschetti, S., M.C. Chiantore, A. Covazzi & G. Albertelli. In press. Life history traits of the bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) in the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean): the contribution of the temporary meiofauna. *Atti 20th International Malacological Congress*, 3-8 September, Vigo, Spain.
- Gaines, S. & J. Roughgarden. 1985. Larval settlement rate: a leading determinant of structure in an ecological community of the marine intertidal zone. *Atti National Academy of Sciences of the USA*, 82: 3707-11.
- Giangrande, A., S. Geraci & G. Belmonte. 1994. Life-cycle and life-history diversity in marine invertebrates and the implications in community dynamics. *Oceanogr. And Mar. Biol: an Annual Review*, 32: 305-333.
- Guerin, J.P. & H. Masse. 1976-1978. Etude expérimentale sur le recrutement des espèces de la macrofaune benthique des substrats meubles. 1- Méthodologie - Données qualitatives et quantitatives. *Tethys*, 8 (2): 151-168.
- Hadfield, M.G. 1986. Settlement and recruitment of marine invertebrates: a perspective and some proposals. *Bull. mar. Sci.*, 39: 418-425.
- Keough, M.J. & B.J. Downes. 1982. Recruitment of marine invertebrates: the role of larval choices and early mortality. *Oecologia*, 54: 348-352.
- Levin, L.A. & E.L. Creed. 1986. Effect of temperature and food availability on reproductive responses of *Streblospio benedicti* (Polychaeta, Spionidae) with planktotrophic or lecitotrophic development. *Mar. Biol.*, 92: 103-113.
- Mathivat-Lallier, M.H. & C. Cazaux. 1989. Dynamique et reproduction de *Nephtys hombergii* (Annelide Polychete) dans le bassin d'Arcachon. *Cah. Biol. Mar.*, 30: 473-486.
- Masse, H. 1972. Quantitative investigations of sandy bottom macrofauna along the Mediterranean north-west coast. *Mar. Biol.*, 15: 209-220.
- Menge, B.A. & J.P. Sutherland. 1987. Community regulation: variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. *Am. Nat.*, 130:730-757.
- Morse, A.N.C. 1991. How do planktonic larvae know where to settle? *Am. Sci.*, 79: 154-167.
- Olafsson, E.B., C.P. Peterson & W.G. Ambrose Jr. 1994. Does recruitment limitation structure populations and communities of macro-invertebrates in marine soft sediments: the relative significance of pre- and post-settlement processes. *Oceanogr. and Mar. Biol.: an Annual Review*, 32: 65-109.
- Osman, R.W., R.B. Whitlatch & R.N. Zajac. 1989. Effects of resident species on recruitment into a community: larval settlement versus post-settlement mortality in the oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Prog. Series*. 54: 61-73.

- Persson, L.-E. 1983. Temporal and spatial variation in coastal macrobenthic community structure, Hano Bay (Southern Baltic). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 68: 277-293.
- Powell, E.N. , H. Cummins, R.J. Stanton Jr. & G. Staff. 1984. Estimation of the size of molluscan larval settlement using the death assemblage. *Est. Coast Shelf Sciences*, 18:367-384.
- Price, R. & R.M. Warwick. 1980. Temporal variations in annual production and biomass in estuarine populations of two polychaetes, *Nephtys hombergii* and *Ampharete acutifrons*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 60: 481-487.
- Sale, P.P. 1990. Recruitment of marine species: is the bandwagon rolling in the right direction? *TREE*, 5(1): 25-27.
- Seitz, R.D. & L.C. Schaffner. 1995. Population ecology and secondary production of the polychaete *Loimia medusa* (Terebellidae). *Mar. Biol.*, 121: 701-711.
- Tenore, K.R. & E.J. Chesney Jr. 1985. The effect of interaction of rate of food supply and population density on the bioenergetics of the opportunistic polychaeta, *Capitella capitata*. *Limnol. Oceanol*, 30: 1188-1195.
- Thorson, G. 1950. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol. Reviews*, 25: 1-45.
- Underwood, A.J. & P.J. Fairweather. 1989. Supply-side ecology and benthic marine assemblage. *TREE*, 4(1): 16-21.
- Woodin, S.A. 1986. Settlement of infauna: larval choice? *Bull. mar. Sci.*, 39: 401-407.
- Zobrist, B.C. & B.C. Coull. 1992. Meiobenthic interactions with macrobenthic larvae and juveniles: an experimental assessment of the meiofaunal bottleneck. *Mar. Ecol. Prog. Series*. 88: 1-8.

**STUDIO INTEGRATO COLONNA D'ACQUA SEDIMENTO
NELL'AREA MERIDIONALE DELLO STRETTO DI MESSINA
- PRIMI RISULTATI -**

Emilio DE DOMENICO¹, Salvatore GIACOBBE¹, Marcella LEONARDI², Daniela BASSO³, Gaetana P. MONDELLO¹, Paola RINELLI², Maurizio SONNINO⁴, Nunziacarla SPANO¹, Alessandra BONACCORSO² e Maria DE DOMENICO¹.

¹Dipartimento di Biologia Animate ed Ecologia Marina, Università di Messina

² Istituto Sperimentale Talassografico - CNR, Messina

³ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano

⁴ Dipartimento di Scienze della Terra, Università della Calabria, Rende (Cosenza)

RIASSUNTO

Nel novembre 1993, nell'ambito di un programma multidisciplinare, è stata svolta una prima campagna di studio, nell'area meridionale dello Stretto di Messina, a bordo della N/O URANIA.

Lungo due allineamenti dalla Calabria per SW e dalla Sicilia per SE, in 22 stazioni tra le batimetriche 100 e 1300 m sono stati effettuati profili CTD, campionamenti lungo la colonna d'acqua ed a 30 cm dal fondo e campionamenti di sedimento a mezzo box-corer, benna e draga. Nei campioni d'acqua sono stati determinati POC e PON ed effettuati conteggi vitali su piastra di batteri eterotrofi. A livello di sedimento, oltre a valutare TOC, TN e batteri, sono state eseguite determinazioni granulometriche e stratigrafiche; l'esame faunistico del vivente è stato associato allo studio delle tanatocenosi.

Dal primo esame dei risultati è emerso un netto confinamento delle risorse trofiche negli strati più superficiali, in funzione della peculiare distribuzione verticale delle masse d'acqua. Per contro, l'esame delle caratteristiche tessiturali e stratigrafiche ha evidenziato un regime sedimentario di tipo gravitativo, principalmente responsabile della povertà quali-quantitativa riscontrata a carico dei popolamenti bentonici.

ABSTRACT

During november 1993, the first cruise of a multidisciplinary program was carried out, on board the R/V URANIA, in the southern approach of the Straits of Messina.

Along two transects (from Calabria towards SW and from Sicily towards SE), at 22 stations located among the bathymetric contour from 100 to 1300 m, CTD profiles, water sampling along the water-column and in the water layer at 30 cm from the bottom,

sediment sampling by box corer, grab and dredge were carried out. In water samples POC and PON and heterotrophic bacteria (as viable plate counts) were evaluated.

In sediment samples TON, TN, viable plate counts, grain size and stratigraphic analyses were carried out; biocoenoses analysis were linked to thanatocoenoses study.

The first evaluation of results showed a marked trophic confinement at the surface layers, related to the peculiar vertical distribution of the water masses. The evidence of a quali-quantitative poorness of the benthic communities is supported by the grain size and stratigraphic analyses showing a gravity sedimentary regime.

1. INTRODUZIONE

Il programma nazionale TSM (40% MURST), ha rappresentato un punto di aggregazione per differenti competenze scientifiche di carattere biologico, paleontologico e sedimentologico. Successivamente, la compartecipazione a crociere di studio inerenti anche tematiche di idrologia, ha fatto maturare il progetto di un più ampio programma, che affrontasse i rapporti fra colonna d'acqua e sedimento, peraltro tematica di base di un programma nazionale MURST.

Nell'ambito di tale programma si è deciso di intraprendere un'indagine nell'area dello Stretto di Messina che, per la sua complessità, rappresenta un test significativo per la messa a punto di un modello di studio multidisciplinare. Si è scelto di operare nel settore meridionale, in funzione del più accentuato trofismo delle acque e per la minore turbolenza rispetto alla parte centrale e settentrionale (De Domenico M. et al., 1988). Si è scelto inoltre di indagare un intervallo batimetrico (100-1100 m) non coperto adeguatamente da studi precedenti e che tuttavia è di grande importanza come raccordo tra gli ambienti litorali e la parte settentrionale del Canyon di Messina.

2. MATERIALI E METODI

I campionamenti sono stati effettuati dal 24/11 al 2/12/93, a bordo della N/O Urania, lungo due allineamenti dalla Calabria per SW e dalla Sicilia per SE (Fig. 1). In 22 stazioni tra le batimetriche 100 c 1300 m sono stati effettuati: profili CTD; campionamenti mediante bottiglie Niskin lungo la colonna d'acqua ed a 30 cm dal fondo mediante apparato espressamente progettato e costruito (Giacobbe & De Domenico, in preparazione) e campionamenti di sedimento a mezzo box-corer, benna e draga, in funzione del substrato e delle diverse esigenze analitiche.

Nei campioni d'acqua sono stati determinati POC e PON ed effettuali conteggi vitali su piastra di batteri eterotrofi in terreno Marine Agar 2216. A livello di sedimento, oltre a valutare TOC, TN e batteri, sono state eseguite determinazioni granulometriche e stratigrafiche; l'esame faunistico del vivente è stato associato allo studio delle tanatocenosi (Basso et al., 1990). Il dettaglio delle metodologie adottate è riepilogato in tabella 1.

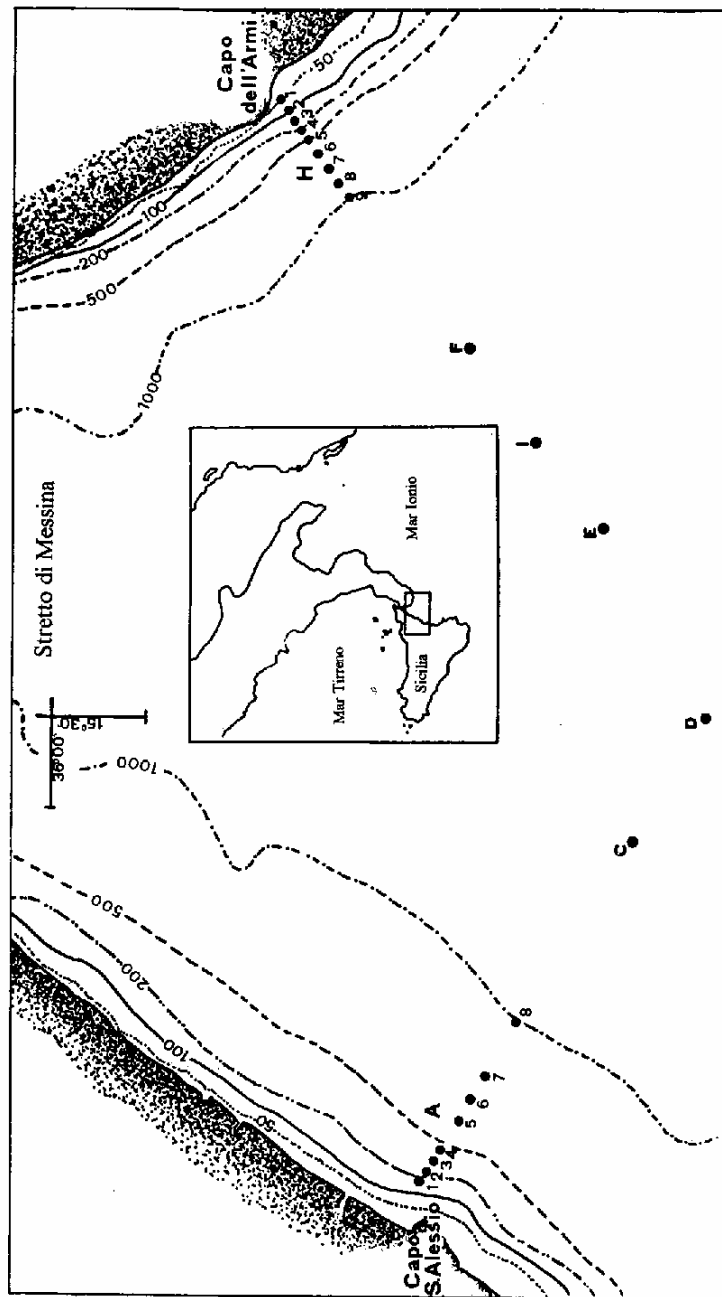


Fig. 1 - Ubicazione delle stazioni di prelievo.

Tab. 1 - Dettaglio dei parametri indagati e delle relative metodologie.

	PARAMETRI	STRUMENTI O METODOLOGIE	BIBLIOGRAFIA
Acqua	Temperatura e salinità	Batisonda Sea Bird	
	Conteggi vitali su piastra	Terreno Marine Agar 2216	De Domenico M. et al., 1990
	POC, PON	CHN 2400 Perkin Elmer	Hedges & Stern, 1984
Interfaccia	Conteggi vitali su piastra	Terreno Marine Agar 2216	De Domenico M. et al., 1990
	POC, PON	CHN 2400 Perkin Elmer	Hedges & Stern, 1984
Sedimento	Conteggi vitali su piastra	Terreno Marine Agar 2216	De Domenico M. et al., 1990
	TOC e TN	CHN 2400 Perkin Elmer	Hedges & Stern, 1984
	Granulometria	Box corer 16 litri	Folk & Ward, 1957
	Tanatocenosi-biocenosi	Benna 75 litri	Basso et al., 1990
		Draga da epibenthos 400 litri	

3. RISULTATI

La distribuzione delle isoaline lungo le due sezioni esaminate (Fig. 2) indica la presenza di un corpo d'acqua a minore salinità lungo le coste di entrambi i versanti. La parte centrale dell'intera sezione risulta peraltro interessata da acque ioniche superficiali. Lo strato di acqua levantina intermedia è molto omogeneo e distribuito fra 200 e 400 m; un nucleo di 38,8 PSU, caratteristico del sito, è presente lungo le coste della Calabria (Lavenia et al., 1983; Cortese & De Domenico E., 1990). Da segnalare che in precedenti ricerche, lo strato di acqua levantina aveva interessato profondità maggiori (De Domenico E. et al., 1995).

L'incidenza del carbonio organico particellato (POC) è generalmente modesta in tutta l'area esaminata (Tab. 2), con valori che oscillano fra un minimo di 6,0 µg/l (Staz. A9, 1000 m) ed un massimo di 107,1 µg/l (Staz. A5, 30 m). Generalmente, alle quote più superficiali è stata registrata l'incidenza maggiore, mentre intorno ai 50 m si rileva un netto decremento, in corrispondenza di un brusco aumento dei valori di salinità (Fig. 2). Localizzati nuclei a maggiore concentrazione sono presenti alle quote intermedie. Inoltre, pur nella generalizzata uniformità di valori, il versante calabro si distingue per una maggiore incidenza media del POC, che risulta accentuata nelle stazioni più costiere.

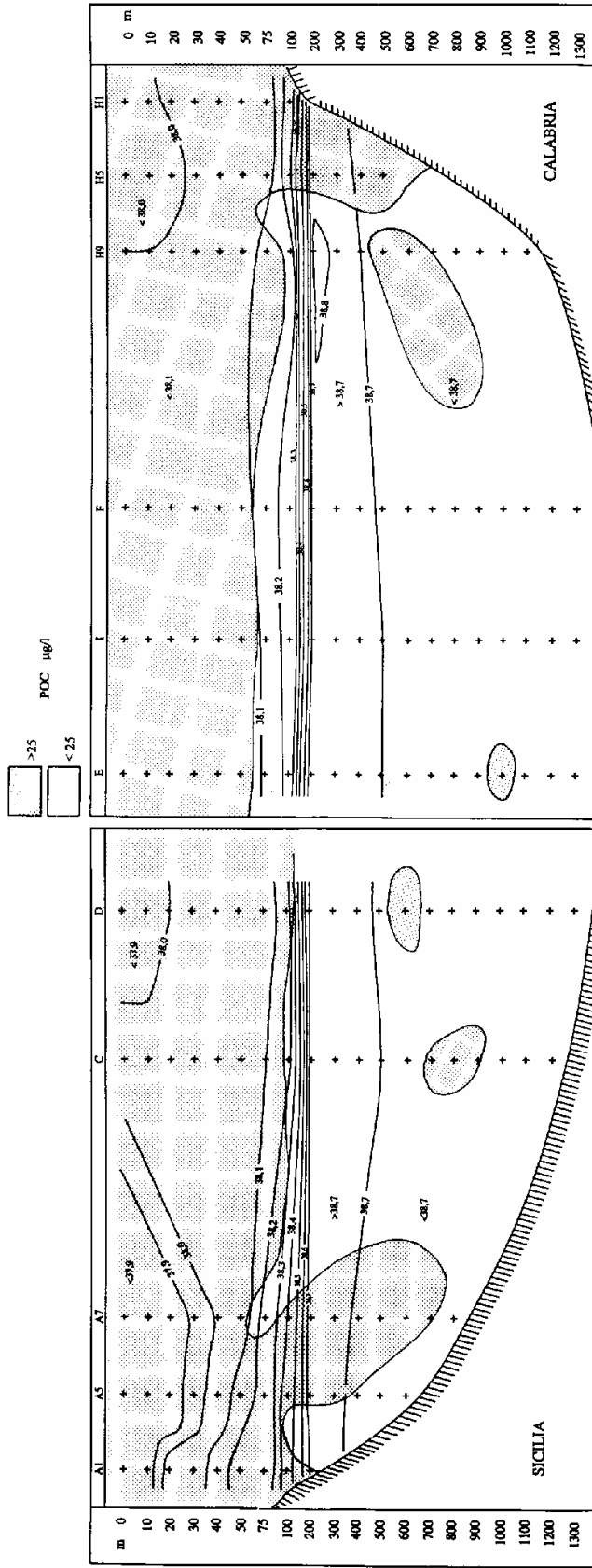


Fig. 2 - Distribuzione dei valori di carbonio organico particolato e confronto con l'andamento delle isoaline.

Tab. 2 - Valori di POC ottenuti nell'area di studio.

SICILIA								
Stazioni		A1	A3	A5	A7	A9	C	D
				POC µg/l				
Colonna acqua	0	54.6	60.0	48.4	43.8	76.6	29.7	77.3
	10	49.5	68.9	57.6	47.9	40.6	42.4	47.6
	30	32.7	45.8	107.1	45.3	42.1	37.7	37.5
	50	27.0	40.7	28.5	28.9	30.9	38.3	46.0
	75	46.0	35.6	32.7	17.7	38.8	47.3	33.4
	100	55.5	25.9	25.9	21.8	12.2	23.4	36.8
	200	29.2	16.9	54.6	31.0	6.2	17.8	13.3
	400	-	19.1	17.5	-	23.5	20.0	14.7
	600	-	-	13.2	19.3	10.7	17.4	45.5
	800	-	-	-	42.6	14.6	34.4	18.8
	1000	-	-	-	-	6.0	9.3	11.2
1200	-	-	-	-	-	-	21.7	
Media		42.1	39.1	42.8	33.1	27.5	28.9	33.7
CALABRIA								
Stazioni		H1	H3	H5	H7	H9	E	F
				POC µg/l				
Colonna acqua	0	70.0	68.4	72.7	61.0	39.1	-	40.4
	10	64.1	68.1	68.1	33.5	56.0	51.9	19.7
	30	55.2	42.4	54.0	25.1	34.7	66.8	-
	50	24.5	77.5	67.8	28.3	34.7	33.9	26.3
	75	36.1	44.4	45.8	18.9	32.2	22.2	23.2
	100	41.9	31.0	84.6	23.0	17.1	30.3	17.4
	150	15.0	-	-	-	-	-	-
	200	-	34.6	-	6.5	19.7	7.9	9.0
	300	-	36.2	-	-	-	-	-
	400	-	-	36.6	23.0	9.2	10.3	11.4
	600	-	-	-	17.3	69.0	9.0	5.5
	800	-	-	-	-	-	14.2	25.9
1000	-	-	-	-	14.5	30.7	21.0	
1200							13.64	
Media		43.8	50.3	61.4	26.3	32.6	27.7	19.4

Per quanto riguarda la distribuzione della carica microbica nell'area esaminata (Tab. 3), i risultati hanno evidenziato valori maggiori lungo le due parti costiere siciliane e calabresi e queste ultime, in particolare, presentano i valori maggiori in accordo presumibilmente alla loro più marcata origine superficiale. Si rileva l'assenza di unità formanti colonie (CPU) nei campioni più profondi delle stazioni al centro dell'area di studio. Da un punto di vista quantitativo e da segnalare che, con la medesima metodologia, in precedenti indagini (De Domenico M., 1995) erano stati registrati valori più elevati. I campioni provenienti dallo strato di acqua levantina intermedia, come per il passato, presentano i valori più bassi, anche se la scarsa escursione di valori in tutta la zona esaminata (0-235 CFU/ml) non evidenzia sufficientemente questo riscontro. I campioni prelevati in prossimità del fondo, contrariamente a quanto da noi atteso, hanno sempre mostrato valori modesti compresi fra 10 e 35 CFU/ml.

La connotazione granulometrica dei fondali appare differente nei due versanti esaminati, rivelando un aspetto più monotono dal lato siciliano, rispetto ad una maggiore eterogeneità in quello calabro. Nel versante siciliano si rileva un preciso gradiente granulometrico, in cui l'assottigliamento della matrice precede parallelamente all'aumento della profondità (Tab. 4). In particolare, al di sopra dei 400 m (Stazioni A1 ed A2) i sedimenti sono sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi, come testimoniano i valori di diametro medio ($Mz < 3 \phi$). Alle quote maggiori, peraltro, i sedimenti sono prevalentemente pelitici, ed i valori di Mz passano da $5,02 \phi$ (Staz. A3) a $6,16 \phi$ (Staz. D) su un fondale di 1300 m.

Nei versante calabro l'assetto tessiturale dei fondali appare irregolare e discontinuo. Ciò è evidente soprattutto nei sedimenti più costieri (Stazioni H1, H2, H3 e H4), dove i valori di diametro medio variano da $2,62 \phi$ a $5,61 \phi$. Oltre i 700 m, i sedimenti sono essenzialmente pelitici, con incidenze percentuali che arrivano al 90,5% nella stazione H7 (837 m).

I valori di classamento differenziano ulteriormente i sedimenti dei due transetti esaminati. I sedimenti del versante siciliano mostrano un grado di classamento (σ) compreso tra 1 e 2, e risultano meno rimaneggiati di quelli del versante calabro; in esso infatti i sedimenti hanno un grado di classamento scarso o molto scarso ($\sigma > 2$). È interessante notare come questo parametro segua un andamento opposto rispetto al diametro medio, evidenziando una più marcata eterogeneità nei sedimenti meno fini. Tale relazione appare in maniera precisa e costante nei campioni dei due versanti esaminati (Fig. 3).

Per quel che concerne l'esame stratigrafico, si osserva che nei versante calabro i sedimenti più profondi (700 m) sono caratterizzati, a 20-30 cm dalla superficie, da un livello di ghiaie fini e sabbie grossolane coperte da fango sabbioso. Sono state evidenziate occasionali laminazioni incrociate o livelli sabbiosi discontinui che sembrano confermare l'ipotesi di una prevalente sedimentazione in regime torbido. Sul versante siciliano, interne ai 1000 m, ciottoli e ghiaie si trovano mescolati ad un sedimento fangoso non classato; inoltre a 10-20 cm dalla superficie delle carote si osservano laminazioni parallele fortemente inclinate o laminazioni incrociate che lasciano supporre l'esistenza di eventi torbido. Non vi sono, al momento, evidenze per escludere che tali depositi non siano da ascrivere a conturriti. È opportuno segnalare che tutti i sedimenti indagati presentano evidenze di bioturbazione, soprattutto nei campioni del versante calabro, in accordo a quanto osservato da Colantoni (1987).

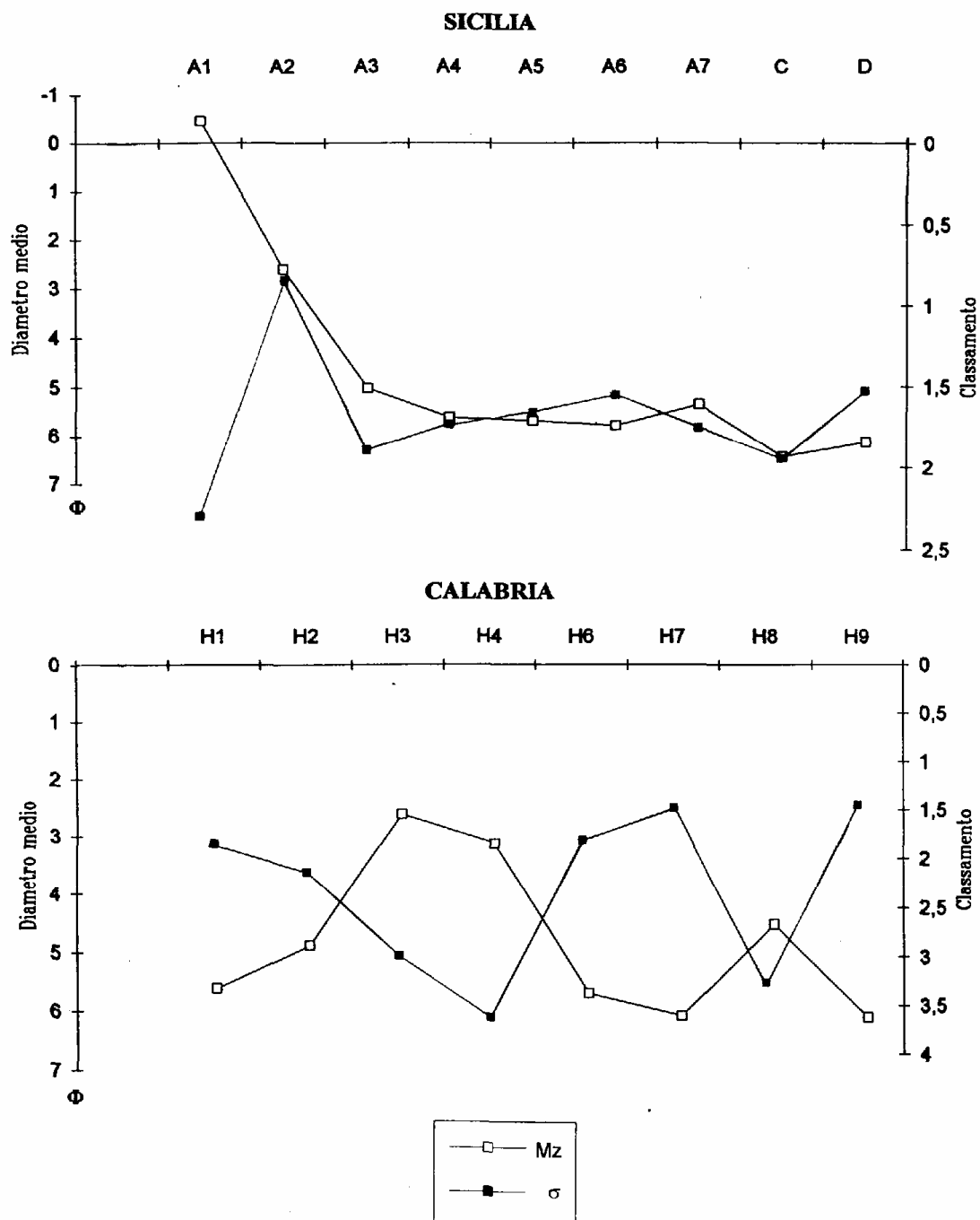


Fig. 3 - Andamento dei valori di diametro medio (Mz) e dei valori di classamento (σ) nei sedimenti superficiali.

Il tenore in carbonio organico nei sedimenti superficiali evidenzia, in entrambi i versanti, una tendenza all'incremento procedendo in direzione del largo. E' abbastanza intuitivo che il gradiente osservato sia da mettere in relazione col già citato assottigliamento della matrice granulometrica. A questo proposito è interessante notare che nella scarpata siciliana, in cui predominano i sedimenti fini ed omogenei, l'incidenza percentuale di carbonio organico è più elevata rispetto al versante calabro (Tab. 3).

Tab. 3 - Valori di carica microbica ottenuti nell'area in esame.

Stazioni											
	A1	A5	A7	C	D	E	I	F	H9	H5	H1
CFU/ml											
Colonna acqua	30	25	180	105	40	100	30	30	25	100	190
	75	165	35	95	10	55	30	60	75	35	235
	100	150	15	215	10	10	25	50	175	50	105
	150	200	-	-	-	-	-	-	-	-	50
	200	-	25	50	25	35	30	40	25	10	-
	300	-	35	30	20	20	30	20	30	65	-
	400	-	40	15	30	10	15	20	15	80	-
	500	-	25	15	15	80	5	40	15	30	-
	600	-	60	30	15	50	15	25	20	-	-
	700	-	-	15	-	15	-	15	35	20	-
	800	-	-	30	-	-	-	-	-	20	-
	1000	-	-	-	15	5	5	10	20	130	-
	1200	-	-	-	5	5	10	0	0	-	-
1300	-	-	-	-	80	0	0	0	-	-	
Interfaccia	-	35	10	-	-	-	-	-	30	30	35
Sedimento	Profondità	233	660	889	1273	1348	1413	1410	1040	650	200
	EPI	-	-	-	-	-	-	-	61000	-	102000
	TOP	-	37500	27000	52000	12000	-	-	116000	-	549000
	BOT	-	33500	9000	19000	9000	-	-	92000	-	71000

La carica microbica nei sedimenti di fondo è stata valutata in 3 differenti strati per ciascun campione da box corer. I risultati, esposti in tabella 4, indicano variazioni anche notevoli fra lo strato strettamente superficiale del sedimento (EPI) ed i subcampioni TOP e BOTTOM ricavati da micro-carote appositamente estratte dal box corer.

I valori restano compresi fra un massimo di $5,5 \times 10^5$ del campione H1 (TOP) ed un minimo di $9,0 \times 10^3$ dei campioni A7 e D (BOTTOM). Piuttosto che l'atteso rapporto diretto con la quantità di carbonio organico o inverse con la dimensione delle particelle sedimentarie, sembra esistere una relazione con l'ubicazione dei campioni; i valori più elevati sono stati riscontrati nei sedimenti campionati lungo la scarpata calabrese ed un altro valore considerevole è stato riscontrato nella stazione più profonda (C) del versante siciliano.

Tab. 4 - Valori di peliti, diametro medio (Mz), coefficiente di cernita (σ) e carbonio organico ottenuti nell'area di studio.

SICILIA					
Stazioni	Prof.	Peliti	Mz	σ	C org.
	m	%	Φ		%
A1	215	6.28	-0.46	2.32	0.41
A2	325	7.26	2.61	0.87	-
A3	416	58.90	5.02	1.91	0.40
A4	520	76.39	5.62	1.75	-
A5	606	75.32	5.68	1.67	0.51
A6	701	82.29	5.79	1.56	-
A7	850	64.13	5.36	1.76	0.51
C	1261	84.93	6.46	1.95	-
D	1369	87.69	6.16	1.53	-
CALABRIA					
Stazioni	Prof.	Peliti	Mz	σ	C org.
	m	%	Φ		%
H1	183	75.42	5.61	1.85	0.33
H2	306	59.76	4.89	2.13	-
H3	399	31.81	2.62	2.98	0.34
H4	522	45.58	3.14	3.61	-
H6	725	74.31	5.71	1.81	0.33
H7	837	90.54	6.11	1.48	0.41
H8	872	68.93	4.55	3.27	-
H9	1127	88.32	6.15	1.45	0.43

Per quanto riguarda i popolamenti bentonici è stata evidenziata una modesta ricchezza specifica associata ad una scarsissima densità. Nell'ambito di tale generalizzata povertà quali-quantitativa è possibile apprezzare differenze fra i due versanti dello Stretto. Nelle stazioni del lato calabro, infatti, è stato riscontrato un maggior numero di specie e valori di abbondanza più elevati, rispetto al versante siciliano. Peraltro, la distribuzione batimetrica dei popolamenti bentonici è alquanto irregolare lungo il versante calabro, mentre nel versante siciliano si osserva una notevole monotonia dei popolamenti, interrotta solo da due massimi relativi di ricchezza specifica, intorno a 200 e 800 m. Ricordiamo, per inciso, che i gruppi tassonomici meglio rappresentati sono i Policheti e, subordinatamente, i Molluschi. Le specie campionate sono per lo più eurivalenti: alle quote più superficiali (100-300 m) predominano gli stocks ad affinità circabatiale, mentre i popolamenti profondi sono tipicamente batiali. Si tratta per lo più di specie ben conosciute e ad ampia distribuzione geografica, con l'eccezione di alcune specie rare, dal significato ecologico poco noto, come ad esempio il bivalve *Cochlodesma tenerum* (JEFFREYS).

La povertà strutturale dei popolamenti è confermata dai risultati delle indagini sulle tanatocenosi, che hanno dimostrato una spiccata prevalenza degli elementi alloctoni. Gli stocks faunistici rilevati hanno infatti mostrato una bassissima incidenza di specie batiali, rispetto ai resti attuali di faune circalitorali e infralitorali. Sono stati inoltre riscontrati bioclasti rimaneggiati attribuiti a specie di probabile età wurmiana.

Infine, da quanto emerso dalle principali caratteristiche delle strutture deposizionali il regime sedimentario dello Stretto di Messina è caratterizzato, in primo luogo, da trasporti di tipo gravitativo, che testimoniano, soprattutto per il versante calabro, una notevole instabilità sedimentaria.

4. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati preliminari discussi in questa sede, si può ipotizzare che l'accentuato regime idrodinamico e la peculiare distribuzione verticale delle masse d'acqua nello Stretto di Messina determinino un netto confinamento delle risorse trofiche negli strati più superficiali. Improvvisi input energetici, con squilibri sedimentari, possono verificarsi soprattutto nel versante calabro a causa del regime sedimentario di tipo gravitativo. In conseguenza di ciò si determina una situazione di instabilità trofica e sedimentaria, che interrompe i processi di assestamento delle comunità bentoniche. Infatti, una estrema povertà del benthos profondo si accompagna a tracce di una intensa attività biologica, rilevata nello spessore dei sedimenti. Tale apparente contraddizione porta a ritenere che, nei biotopi profondi dello Stretto di Messina, vengano elaborate strategie ecologiche che conducono, di volta in volta, a popolamenti estremamente dispersi oppure ad addensamenti di fauna temporanei e localizzati.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano sentitamente il Prof. Cesare Corselli per la amichevole e preziosa collaborazione alle indagini riferite nella presente nota. Si ringrazia altresì il

Prof. Norberto Della Croce, responsabile nazionale del programma MURST che ha finanziato le ricerche.

BIBLIOGRAFIA

- Basso, D., C. Corselli & S. Giacobbe. 1990. Processi tafonomici e sedimentari sulla piattaforma continentale del Mediterraneo. Arcipelago Toscano. Rapporto sui risultati delle crociere oceanografiche della N/O Minerva, giugno-luglio 1988, dicembre 1988. *Dip. Biol. Anim. Ecol. Mar., Rapporti*, 4, 40 pp.
- Colantoni, P. 1987. Marine geology of the Strait of Messina. *Doc. et Trav. IGAL*, n° 11: 191-209.
- Cortese, G. & E. De Domenico. 1990. Some considerations on the Levantine Intermediate Water distribution in the Straits of Messina. *Boll. Oceanol. Teor. Appl*, 1 (3): 197-207.
- De Domenico, E., G. Cortese & G. Pulicano. 1995. Chemical characteristics of waters in the Straits of Messina. *The Straits of Messina Ecosystem. Proceedings of the Symposium held in Messina*, 4-6 April 1991. (L. Guglielmo, A. Manganaro & E. De Domenico Eds.): 155-168.
- De Domenico, M. 1995. Distribution of microbial heterotrophic communities in the Straits of Messina. *The Straits of Messina Ecosystem. Proceedings of the Symposium held in Messina*, 4-6 April 1991. (L. Guglielmo, A. Manganaro & E. De Domenico Eds.): 145-154.
- De Domenico, M., G. Cortese, G. Pulicano & E. De Domenico. 1988. Variazione spazio-temporale di nutrienti, clorofilla e carica microbica nelle acque dello Stretto di Messina. *AM 8° Congr. A.I.O.L.*: 337-355.
- De Domenico, M., L. Genovese & E. De Domenico. 1990. Valutazione delle comunità microbiche in acque pelagiche del Mare Ionio. *Oebalia*, suppl., Vol. XVI-1: 497-506.
- Folk, R.L. & W.C. Ward. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journ. Sed. Petr.*, 27 n° 1.
- Giacobbe, S. & E. De Domenico. To be submitted. A useful frame system for water sampling near the bottom. *Boll. Oceanol. Teor. Appl*.
- Hedges, J. & J. Stern. 1984. Carbon and nitrogen determination of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.*, 29: 657-663.
- Lavenia, A., F. Mosetti & D. Bregant. 1983. Some Results and Remarks on the Ionian Sea Hydrology. *Boll. Oceanol. Teor. Appl*, 1 (1): 19-48.
- Selli, R., P. Colantoni, A. Fabbri, S. Rossi, A.M. Borsetti & P. Gallignani. 1978-79. Marine Geological Investigation on the Messina Strait and its approaches. *Giornale di Geologia*, 17 (2): 70 pp.

**RISULTATI SUI TESTS PER LA VALUTAZIONE DELLA ZEOLITE
SINTETICA "A" E DEGLI ACIDI POLICARBOSILICI
SULLA PRODUZIONE - AGGREGAZIONE DI ESSUDATI DA PARTE
DI *CYLINDROTHECA CLOSTERIUM* (EHR.) REIMANN & LEWIN**

Marina MONTI, Chiara WELKER e Serena FONDA UMANI

Laboratorio di Biologia Marina, Strada Costiera 336, 34010 Trieste

ABSTRACT

The aim of this work was focused on the possible role of the Zeolite A-Polycarboxylic Acid (PCA) as builder system in the mucilage formation, appeared in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) in the last years. In particular the objective was to understand whether there is any influence of this builder system on the quality and quantity of mucous exudates produced by diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reimann & Lewin, under controlled conditions. A 5:1 ratio of Zeolite A:Polycarboxylic Acid (PCA) added to aged filtered sea water in one single step or in various fractionated steps have been used. Mucous aggregates appeared after one week were analysed (cellular density, POC, PON, volume, density and excess of density) and no substantial differences were noticed between tests and blanks.

1. INTRODUZIONE

Numerosi sono gli studi eseguiti sulla composizione degli aggregati mucillaginosi apparsi negli ultimi anni nell'Alto Adriatico (Herndl & Peduzzi, 1988, Degobbi, 1989, Fanuko et al., 1989, Marchetti et al., 1989, Rinaldi et al., 1990, Stachowitsch et al., 1990, Revelante & Gilmartin 1991, Volterra & Bruno 1991, Cabrini et al., 1992). Tuttavia non sono del tutto note le origini e le cause di innesco del fenomeno, anche se le caratteristiche proprie di tali formazioni ricordano le descrizioni relative agli episodi di "mare sporco" riportati da de Syrski nel secolo scorso (Fonda Umani et al., 1989). Ultimamente è stata avanzata l'ipotesi che l'introduzione di sostituti del fosforo nella formulazione dei detersivi, in particolare il sistema zeoliti-acidi policarbosilici, possa aver esercitato un ruolo importante nell'aspirazione del fenomeno della "neve marina", da molti considerata come la prima fase di aggregazione (Pettine et al., 1992). Le zeoliti costituiscono una ben definita classe di alluminosilicati, minerali cristallini, presenti in natura nelle rocce vulcaniche. Attualmente, oltre alle circa 40 zeoliti naturali, si conoscono oltre 150 zeoliti sintetiche. Negli ultimi anni le zeoliti vengono principalmente usate nei detersivi come scambiatori di ioni ed agenti adsorbenti, grazie alla loro capacità

di fungere da setacci molecolari. A partire dagli anni settanta, un tipo di zeolite sintetica, conosciuta come zeolite A, venne sviluppata come builder per la formulazione di detergenti con la funzione di ridurre la durezza della soluzione di lavaggio e di assorbire i componenti attivi del detersivo. Questa zeolite ha formula $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$, è insolubile in acqua e presenta una struttura cristallina ben definita, costituita da gabbie collegate da finestre che determinano un reticolo cristallino altamente accessibile. Proprio grazie a questa struttura gli ioni sodio contenuti nelle gabbie sono molto mobili e possono essere facilmente sostituiti da ioni responsabili della durezza dell'acqua, calcio in particolare. Le dimensioni delle particelle e la forma dei cristalli sono state ottimizzate per l'utilizzo in detergenza con la presenza di una granulometria piuttosto omogenea, compresa nell'intervallo fra 2 e 8 μm , ed una forma arrotondata del cristallo, necessaria per migliorare la protezione dei tessuti durante il lavaggio. L'attività di builder della Zeolite A è rinforzata dall'aggiunta di piccole quantità di sostanze solubili, chiamate co-builder. Attualmente i polycarbossilati (PCA) sono i principali co-builders in uso, e hanno la capacità di legare gli ioni calcio, aiutare il trasferimento del calcio alla zeolite, ritardare la precipitazione dei sali di calcio e migliorare il potere disperdente del detersivo a base di zeolite.

Sono stati condotti due esperimenti al fine di capire se il sistema zeoliti-ac. polycarbossilici può influire sulla qualità e sulla quantità degli essudati prodotti, in condizioni controllate, dalla diatomea *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reimann & Lewin, isolata dagli aggregati apparsi nel Golfo di Trieste nel 1991. Per gli esperimenti è stato utilizzato un rapporto zeolite:acidi polycarbossilici pari a 5:1, corrispondente alla massima concentrazione di queste sostanze (100 $\mu\text{g/l}$ di zeolite e 20 $\mu\text{g/l}$ di ac. polycarbossilici), prevedibile nella "plume" del Po (Pettine et al., 1992). Si è voluto considerare la risposta algale sia ad una aggiunta di zeolite e PCA in un'unica soluzione sia la risposta ad un'aggiunta frazionata nell'arco di una settimana che potrebbe simulare meglio la situazione presente in natura.

2. MATERIALI E METODI

Gli esperimenti sono stati condotti in una cella termostata con condizioni controllate di luce (irradianza scalare = $0,2 \times 10^{16}$ quanta $\text{sec}^{-1}\text{cm}^{-2}$ con fotoperiodo luce:buio di 16:8) e temperatura ($20^\circ\text{C} \pm 0,5$). Sono state utilizzate vasche di plastica trasparente della capacità di 20 litri, riempite con acqua di mare filtrata a $0,45 \mu\text{m}$ e mantenuta a temperatura costante (20°C) ed al buio per circa cinque mesi. L'acqua di mare utilizzata è stata raccolta nel Golfo di Trieste a circa 8 miglia dalla costa, alla quota intermedia di 10 m. Per gli inoculi è stata utilizzata la specie *C. closterium* (Ehr.) Reimann & Lewin (Fig. 1), isolata dagli aggregati mucosi apparsi nel Golfo di Trieste nel 1991, e mantenuta in cultura f/2 secondo Guillard (1975).

Prima di ogni inoculo le cellule algali sono state trasferite a 16°C e ad intensità luminosa inferiore (irradianza scalare = $0,1 \times 10^{16}$ quanta $\text{sec}^{-1}\text{cm}^{-2}$ con fotoperiodo luce:buio di 14:10) per provocare, con l'inoculo nelle vasche, anche uno shock termico e luminoso oltre a quello nutrizionale. Per ogni esperimento sono state usate sette vasche (2 bianchi e 5 tests) riempite con 10 litri di acqua di mare "invecchiata". In ognuna di

queste è stata inoculata una concentrazione nota di *C. closterium* (Ehr.) Reimann & Lewin in fase di crescita esponenziale.



Fig. 1 - Essudati policarbossilici prodotti da *Cylindrotheca closterium* in condizioni controllate.

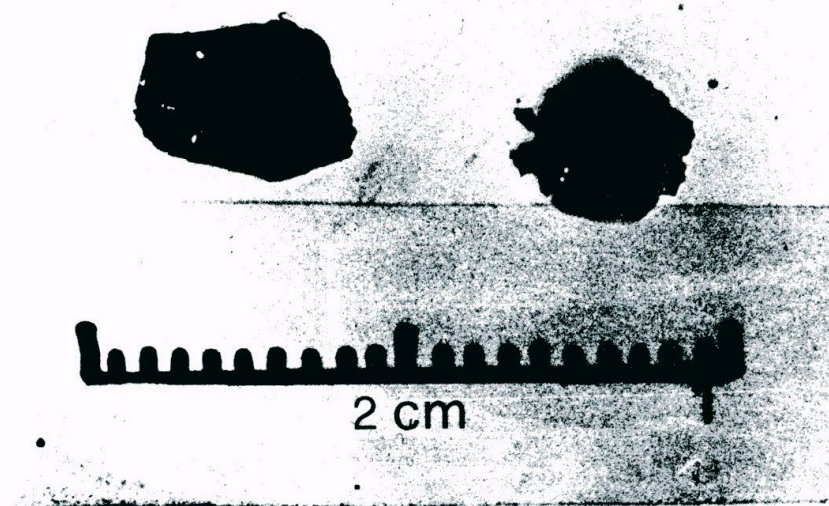


Fig. 2 - Aggregati mucillaginosi posti all'interno di una Petri per la caratterizzazione.

Nel primo esperimento è stato utilizzato un rapporto zeolite:PCA pari a 5:1 (100 $\mu\text{g/l}$ di zeolite e 20 $\mu\text{g/l}$ di PCA), aggiunto, in un'unica frazione, il primo giorno dell'esperimento. Nel secondo esperimento, le medesime concentrazioni di zeolite:PCA sono state aggiunte nell'arco di sei giorni, arrivando così alla concentrazione massima al sesto giorno. Tale modalità è stata utilizzata per facilitare il contatto tra le cellule algali e le sostanze inoculate, considerate l'elevato tasso di sedimentazione delle zeoliti.

Le zeoliti e gli acidi policarbossilici sono stati forniti dalle Industrie produttrici.

Giornalmente sono stati prelevati subcampioni per l'analisi della concentrazione algale mentre, a scadenza fissa (ogni 3/4 giorni), sono stati prelevati dei campioni per l'analisi dei silicati, dell'alluminio disciolto, del Carbonio, Idrogeno ed Azoto particellato (CHN). La conta delle cellule algali è stata effettuata al microscopio invertito (Leitz Fluovert) ad un ingrandimento di x320, seguendo il metodo di Uthermöl (1958). Le analisi dei silicati sono state effettuate seguendo il metodo Koroleff (1983a) mentre per le analisi dell'alluminio reattivo si è utilizzato il metodo al violetto di pirocatecolo secondo Koroleff (1983b). Le analisi per la stima del Carbonio organico particellato (POC) sono state eseguite mediante l'utilizzo di un CHNS/O Perkin-Elmer Elemental Analyzer, dopo il trattamento dei campioni con HC1 (IN) ed essiccamento in stufa a 55°C. Le concentrazioni di POC sono state misurate dopo filtrazione di 100 ml su filtri in fibra di vetro (0,7 µm) Whatmann GF/F (25 mm) precombusti per 3h a 450°C.

Gli aggregati mucilluginosi, comparsi in ogni tanica, sono stati prelevati delicatamente, con una pipetta di plastica (0,3 mm I.D.) e posti su una scatola Petri per essere misurati e fotografati (Fig. 2).

Per le analisi quantitative del muco ogni campione prelevato è stato colorato con Rosa Bengala, mescolato vigorosamente con un omogenizzatore e filtrate con un filtro 0,45 µm HA filtro Millipore. I filtri sono stati seccati in stufa a 70°C per circa 1 ora, posti su vetrini portaoggetti, schiariti con alcune gocce di olio ad immersione ed esaminati a 1000 ingrandimenti. A seconda dell'abbondanza del materiale sui filtri, sono stati contati da 10 a 45 campi. Per la determinazione del peso secco, i campioni sono stati filtrati su filtri prepesati, seccati come precedentemente descritto, e, prima di essere montati sul vetrino portaoggetti, ripesati (Alldredge e Gotschalk, 1988). Le analisi del POC degli aggregati mucosi sono state eseguite come precedentemente descritto.

I dati raccolti sono stati elaborati utilizzando il programma di analisi multivariata (Lagonegro & Feoli, 1985). Per ciascun esperimento le matrici variabili/campioni, dopo normalizzazione, sono state elaborate utilizzando la Cluster Analysis (Sum Square Agglomeration e Distanza Euclidea).

I dati relativi al muco sono stati organizzati in una matrice variabili/campioni, normalizzata e trattata come le precedenti. Inoltre è stata effettuata l'Analisi delle Componenti Principali la cui rappresentazione, comprendente sia le variabili che i campioni, è stata ottenuta con l'utilizzo del metodo BIPLLOT.

3. RISULTATI 3.1. Acqua

Concentrazione algale

Nel primo esperimento il massimo di abbondanza è stato raggiunto nelle diverse vasche l'undicesimo giorno, (massimo assoluto nella vasca n.4 (971983 cell/dm³), con la sola eccezione di uno dei bianchi (n.1) che ha raggiunto il massimo (223342 cell/dm³) l'ultimo giorno dell'esperimento (Tab. Ia).

Nel secondo esperimento il massimo è stato raggiunto l'ultimo giorno (massimo assoluto nella vasca n.5 (1060427 cell/dm³), con la sola eccezione di uno dei test (vasca

n.3) che ha raggiunto il suo massimo (175993 cell/dm³) al quarto giorno per poi decrescere costantemente (Tab. 1b).

In un confronto tra i due esperimenti si nota come nel primo esperimento la concentrazione algale nei bianchi è risultata costantemente più bassa rispetto a quella dei tests e nel secondo esperimento la crescita algale è apparsa più lenta.

Tab. 1a - Concentrazione algale, silicati, alluminio, POC e CCC nei bianchi e nei tests nel primo esperimento

		1° esperimento						
giorni		bianchi			tests			
		1	2	3	4	5	6	7
4	conc. algale cell/dm ³	148520	190246	180410	164318	223945	210406	239346
	silicati µM	3.10	2.27	2.70	2.25	2.50	2.37	3.23
	alluminio µg/dm ³	5.0	5.2	5.8	5.4	6.2	5.1	5.9
	POC µg/dm ³	1167.90	1162.10	616.90	626.10	728.90	656.30	400.90
	CCC µg/cell	0.0079	0.0061	0.0034	0.0038	0.0033	0.0031	0.0017
7	conc. algale cell/dm ³	34842	37521	155445	29481	209049	75042	104523
	silicati µM	1.99	1.48	1.41	1.13	1.87	1.32	1.81
	alluminio µg/dm ³	6.6	1.7	2.5	2.0	2.7	2.9	3.7
	POC µg/dm ³	349.70	275.90	349.70	369.30	397.90	493.50	556.90
	CCC µg/cell	0.0100	0.0074	0.0022	0.0125	0.0019	0.0066	0.0053
11	conc. algale cell/dm ³	58069	205474	658412	971983	734348	785270	535127
	silicati µM	1.69	1.16	1.51	1.00	1.71	1.01	1.21
	alluminio µg/dm ³	7.9	7.5	8.0	7.9	8.6	9.2	9.1
	POC µg/dm ³	484.30	280.30	476.10	517.70	433.50	488.90	249.10
	CCC µg/cell	0.0083	0.0014	0.0007	0.0005	0.0006	0.0006	0.0005
15	conc. algale cell/dm ³	141152	182247	337693	416309	480631	374321	438643
	silicati µM	1.91	1.36	1.65	1.87	2.45	2.86	1.31
	alluminio µg/dm ³	6.3	6.3	6.5	6.4	6.7	6.9	6.8
	POC µg/dm ³	289.70	297.70	425.70	501.90	522.70	626.50	512.30
	CCC µg/cell	0.0021	0.0016	0.0013	0.0012	0.0011	0.0017	0.0012
18	conc. algale cell/dm ³	223342	160806	276944	482418	513686	513686	497605
	silicati µM	2.30	1.67	1.71	2.07	2.56	1.93	1.29
	alluminio µg/dm ³	6.10	5.80	6.40	6.30	6.30	6.60	7.30
	POC µg/dm ³	398.10	345.70	506.50	727.70	408.50	451.70	293.30
	CCC µg/cell	0.0018	0.0021	0.0018	0.0015	0.0008	0.0009	0.0006

Tab. 1b - Concentrazione algale, silicati, alluminio, POC e CCC nei bianchi e nei tests n secondo esperimento

		2° esperimento						
giorni		bianchi			tests			
		1	2	3	4	5	6	7
1	conc. algale cell/dm ³	11614	41095	35402	11614	19654	10720	14294
	silicati µM	0.97	1.67	2.30	1.44	1.62	1.92	1.70
	alluminio µg/dm ³	8.4	8.7	8.6	8.7	8.6	9.5	9.7
	POC µg/dm ³	352.96	308.76	508.56	255.36	416.76	326.36	215.96
	CCC µg/cell	0.0304	0.0075	0.0144	0.0220	0.0212	0.0304	0.0151
2	conc. algale cell/dm ³	18761	21441	75043	33055	32161	21441	27694
	silicati µM	1.63	1.95	1.97	2.11	1.67	1.78	1.89
	alluminio µg/dm ³	5.6	6.1	7.5	6.9	6.4	7.8	7.7
	POC µg/dm ³	331.76	313.16	206.56	263.36	220.36	199.56	328.36
	CCC µg/cell	0.0177	0.0146	0.0028	0.0080	0.0069	0.0093	0.0119
3	conc. algale cell/dm ³	33948	233169	121498	78616	241209	41988	29481
	silicati µM	1.94	1.16	1.72	2.57	2.97	1.53	2.84
	alluminio µg/dm ³	9.1	11.8	9.8	10.6	10.3	9.1	10.0
	POC µg/dm ³	367.16	321.76	322.96	356.56	279.96	230.16	263.76
	CCC µg/cell	0.0108	0.0014	0.0027	0.0045	0.0012	0.0055	0.0089
4	conc. algale cell/dm ³	19654	85763	175993	108097	96484	33055	50922
	silicati µM	1.14	1.52	1.26	2.40	2.39	2.68	2.42
	alluminio µg/dm ³	14.2	16.4	15.4	15.4	16.0	16.3	15.9
	POC µg/dm ³	312.56	430.96	243.96	308.96	310.16	446.16	235.96
	CCC µg/cell	0.0159	0.0050	0.0014	0.0029	0.0032	0.0135	0.0046
5	conc. algale cell/dm ³	82190	114351	30374	28588	92910	51815	52709
	silicati µM	2.43	2.74	1.58	1.70	1.92	1.79	1.67
	alluminio µg/dm ³	16.4	19.0	18.7	17.7	18.1	18.9	21.0
	POC µg/dm ³	517.96	624.76	344.96	448.36	329.96	368.16	411.16
	CCC µg/cell	0.0063	0.0055	0.0114	0.0157	0.0036	0.0071	0.0078
7	conc. algale cell/dm ³	207261	43755	8040	98270	441323	275157	12507
	silicati µM	1.53	1.45	1.69	1.44	1.34	1.28	1.33
	alluminio µg/dm ³	20.6	25.1	25.3	25.5	24.4	23.6	25.0
	POC µg/dm ³	446.16	566.76	388.36	562.16	338.36	325.76	327.96
	CCC µg/cell	0.0022	0.0130	0.0483	0.0057	0.0008	0.0012	0.0262
8	conc. algale cell/dm ³	196541	64322	56282	124178	95590	479738	33055
	silicati µM	1.40	1.03	1.02	1.05	1.13	1.06	1.03
	alluminio µg/dm ³	10.5	13.2	12.7	12.2	12.0	13.1	13.9
	POC µg/dm ³	387.96	470.16	382.16	397.16	481.76	437.76	261.56
	CCC µg/cell	0.0020	0.0073	0.0068	0.0032	0.0050	0.0009	0.0079
11	conc. algale cell/dm ³	209941	74149	50028	262650	362707	468124	198327
	silicati µM	1.22	0.51	0.98	0.89	1.06	0.88	0.78
	alluminio µg/dm ³	11.3	12.9	13.1	13.2	12.5	13.4	12.9
	POC µg/dm ³	392.96	351.36	678.76	414.96	512.16	582.76	215.96
	CCC µg/cell	0.0019	0.0047	0.0136	0.0016	0.0014	0.0012	0.0011
14	conc. algale cell/dm ³	426136	261756	53602	527086	1060427	591409	904981
	silicati µM	1.05	0.30	0.51	0.93	1.01	0.98	0.68
	alluminio µg/dm ³	14.9	21.7	17.5	16.6	16.4	16.3	16.8
	POC µg/dm ³	672.96	584.16	428.56	896.76	617.56	604.96	639.56
	CCC µg/cell	0.0016	0.0022	0.0080	0.0017	0.0006	0.0010	0.0007

Silicati

Nel primo esperimento i valori massimi dei silicati disciolti vengono rilevati al quarto giorno, con valori compresi tra 2,25 e 3,23 μM . Nel corso dell'esperimento si nota un graduale decremento delle concentrazioni, con un valore minimo pari a 1,00 μM all'undicesimo giorno ed una leggera ripresa alla fine dell'esperimento (Tab. 1a).

Nel secondo esperimento i valori iniziali risultano compresi tra 0,97 e 2,30 μM . Il massimo si registra il terzo giorno nella vasca n.5 con 2,97 μM , mentre entrambi i bianchi raggiungono il massimo al quinto giorno (n.1 : 2,43 μM ; n.2 : 2,74 μM). Anche in questo caso si è notato un decremento alla fine dell'esperimento (Tab. 1b).

In entrambe gli esperimenti si nota una diminuzione dovuta al consumo da parte delle cellule.

Alluminio

Le concentrazioni iniziali tra i due esperimenti sono risultate molto diverse, nel primo esperimento i valori sono compresi tra 5,0 e 6,2 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ mentre nel secondo esperimento tra 8,4 e 9,7 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Nonostante la variabilità iniziale l'andamento risulta paragonabile in entrambi gli esperimenti, sia nei bianchi che nei tests. I valori massimi vengono raggiunti nel primo esperimento all'undicesimo giorno mentre nel secondo esperimento il raggiungimento del valore massimo viene anticipata al settimo giorno. In entrambi gli esperimenti si registra un leggero aumento alla fine (Tab. 1a, b).

POC

I valori iniziali del primo esperimento variano tra un minimo di 400,90 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ e un massimo di 1167,9 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ mentre nel secondo esperimento variano tra un minimo di 215,96 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ed un massimo di 508,56 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Nonostante la ragguardevole differenza nelle concentrazioni riscontrata nei due esperimenti la variabilità osservata tra le diverse vasche e dello stesso ordine di grandezza. Nel primo esperimento si è notato un andamento decrescente mentre nel secondo il valore massimo è stato raggiunto alla fine dell'esperimento (Tab. 1a).

POC/cellula

Nel primo esperimento i valori oscillano da un minimo di 0,0005 $\mu\text{g}/\text{cell}$ a un massimo 0,0125 $\mu\text{g}/\text{cell}$, con un massimo relativo al settimo giorno, con l'eccezione delle vasche n.3 e n.5 nelle quali i valori decrescono costantemente (Tab. 1a).

Nel secondo esperimento quattro vasche hanno raggiunto il massimo tra il quinto ed il settimo giorno mentre le altre tre hanno mostrato una diminuzione abbastanza costante. I valori variano da un minimo di 0,0006 $\mu\text{g}/\text{cell}$ ed un massimo di 0,048 $\mu\text{g}/\text{cell}$ (Tab. 1b).

3.2. Aggregati mucosi

Nel primo esperimento sono apparsi, dopo undici giorni, degli aggregati mucosi sia nelle vasche dei bianchi e in quelle dei tests. Nel secondo esperimento la comparsa è avvenuta dopo una settimana e anche in questo caso è risultata contemporanea in tutte le vasche.

In ogni vasca si è registrata la presenza dello stesso numero di aggregati (3-5) con dimensioni variabili, nel primo tra 0,15 e 0,32 cm in lunghezza, nel secondo tra 0,33 e 0,56 cm. Il volume è variato, nel primo, tra $1,3 \times 10^{-4}$ e $19,5 \times 10^{-4}$ cm³, nel secondo, tra $5,6 \times 10^{-4}$ e $35,2 \times 10^{-4}$ cm³ (Tab. 2). Anche i valori di porosità e densità sono risultati paragonabili, sia tra i due esperimenti che tra i bianchi ed i tests (Tab. 2).

L'eccesso di densità, intesa come densità del muco rispetto alla densità dell'acqua, ha indicato valori sempre positivi sia nei bianchi che nei tests, con valori molto variabili e mediamente superiori nel primo esperimento (Tab. 2).

Gli aggregati mucosi prodotti sia nei bianchi che nei tests presentano una elevata variabilità per le caratteristiche strettamente legate alla presenza cellulare.

Tab. 2 - Caratteristiche degli aggregati mucilluginosi nei due esperimenti.

caratteristiche muco	1° esperimento						
	bianchi		tests				
	1	2	3	4	5	6	7
densità g/cm ³	0.0036	0.1053	0.0032	0.0943	0.0135	0.0075	0.1254
porosità	0.997	0.915	0.997	0.923	0.989	0.994	0.898
ecc. densità g/cm ³	0.000595	0.017400	0.000533	0.015600	0.022400	0.001250	0.020800
densità cell. cell/mg	14014940	309193	16236689	227094	3495230	15210013	462265
POC µg/cm ³	1354.90	2249.31	1590.19	3800.70	1466.99	5218.54	2034.81
PON µg/cm ³	0.00	274.44	15.66	0.00	0.00	0.00	0.00
CCC µg/cell	0.000097	0.007275	0.000098	0.016736	0.000419	0.000343	0.004402

caratteristiche muco	2° esperimento						
	bianchi		tests				
	1	2	3	4	5	6	7
densità g/cm ³	0.0424	0.0186	0.0207	0.0124	0.0094	0.0123	0.0108
porosità	0.966	0.985	0.983	0.990	0.992	0.990	0.991
ecc. densità g/cm ³	0.007001	0.003070	0.003412	0.002040	0.000155	0.002024	0.001789
densità cell. cell/mg	2972208	4502708	2130479	2089038	2472877	1185995	1185149
POC µg/cm ³	2519.50	1166.10	853.91	921.48	3976.53	1042.47	538.47
PON µg/cm ³	32.47	0.00	0.00	0.00	450.22	0.00	0.00
CCC µg/cell	0.000847	0.000259	0.000401	0.000441	0.001608	0.000879	0.000454

La densità cellulare all'interno degli aggregati è risultata molto variabile nel primo esperimento (tra 227094 cell/mg e 16236689 cell/mg, inteso come peso secco) mentre nel secondo è risultata più omogenea e, generalmente, compresa tra 1185149 cell/mg e 4502708 cell/mg (Tab. 2).

I valori di POC misurati non hanno indicato differenze tra i tests ed i bianchi, variando tra 538.47 µg/cm³ e 5219 µg/cm³. Nel primo esperimento i valori di Carbonio presente nel muco risultano mediamente più alti (Tab. 2).

Il contenuto in POC per cellula presenta nel primo esperimento valori compresi tra $9,6 \times 10^{-5}$ e $1,67 \times 10^{-2}$ mentre nel secondo esperimento variano tra $2,58 \times 10^{-4}$ e $1,61 \times 10^{-3}$ (Tab. 2).

3.3. Analisi statistica

La Cluster Analysis applicata alle matrici densità cellulare/campioni e POC/campioni ha messo in evidenza che nel primo esperimento i bianchi sono chiaramente separati dai tests (Fig. 3a, b, c), mentre per la matrice CCC/campioni non si nota una separazione fra bianchi e tests. Per quanto riguarda la matrice relativa alle caratteristiche degli aggregati mucilluginosi la Cluster Analysis non ha evidenziato differenze significative fra i bianchi e i tests nei due esperimenti (Fig. 4a). L'analisi delle componenti principali ha confermato infine la mancanza di differenze fra i bianchi ed i tests (Fig. 4b).

4. CONCLUSIONI

La specie *C. closterium* (Ehr.) Reimann & Lewin, utilizzata in questi esperimenti, è risultata essere la diatomea più abbondante negli aggregati mucosi raccolti nell'estate del 1991 nel Golfo di Trieste (Monti et al., 1993) e sicuramente una delle maggiori responsabili della produzione di essudati mucilluginosi nell'ambiente marino. Precedenti indagini hanno confermato come questa specie rilasci microaggregati mucosi, passando da condizioni ottimali di coltura a condizioni di stress nutrizionale (Welker & Monti, 1994). Inoltre, dal punto di vista quantitativo (POC), il rilascio di materiale polisaccaridico è risultato maggiore quando la specie *C. closterium* si presenta nella fase di crescita esponenziale (Monti et al., 1994).

I risultati ottenuti dagli esperimenti da noi condotti, utilizzando la medesima specie algale, hanno rilevato differenze tra i bianchi ed i tests solo nel primo esperimento e limitatamente alla matrice acqua per quanto attiene i valori di abbondanza cellulare e di POC. Si è notato infatti che i valori di abbondanza cellulare sono risultati più alti nelle vasche con aggiunta delle sostanze in esame, tale risultato però non è stato confermato nel secondo esperimento. L'aumento osservato potrebbe essere dovuto all'effetto dell'aggiunta di alluminosilicati in un'unica soluzione nei tests che potrebbe stimolare il tasso di divisione cellulare, con il risultato di un più alto numero di cellule.

La differenza dei valori riscontrata tra i due esperimenti, sia nei bianchi che nei tests, può essere associata solo ad una particolare fase fisiologica delle diatomee inoculate. Infatti, anche se è stata posta la massima attenzione nella preparazione delle alghe da inoculare, a distanza di poche ore si possono riscontrare delle differenze sia dal punto di vista nutrizionale che della fase di crescita.

Il contenuto in carbonio delle cellule non varia sostanzialmente in entrambi gli esperimenti tra tests e bianchi, a riprova del mancato effetto delle sostanze aggiunte sull'endoprodotto di carbonio e conseguentemente sull'eventuale rilascio. Infatti gli aggregati mucosi, apparsi nei bianchi e nei tests, non hanno presentato differenze sostanziali. Non si è verificato inoltre alcun aumento visibile di neve marina e non si sono notate differenze, sia volumetriche che numeriche, tra i macroaggregati prodotti nelle

varie vasche. Anche la porosità è risultata costante, con conseguente omogeneità dei valori di densità e, cosa ancora più importante, i valori di eccesso di densità sono risultati sempre positivi confermando l'uguale tendenza degli aggregati ad affondare. Sembra quindi che le ipotesi formulate da alcuni Autori in studi precedenti, non trovino conferma dagli esperimenti da noi condotti e si può escludere che, quantomeno nelle condizioni sperimentali utilizzate, il sistema zeolite A-PCA rivesta un ruolo importante nell'asasperazione del fenomeno "neve marina", non influenzando, inoltre, nell'aumento della produzione dei macroaggregati e nelle loro principali caratteristiche.

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche sono state eseguite nell'ambito della Convenzione stipulata tra il Laboratorio di Biologia Marina e la Federchimica Milano.

Gli Autori desiderano ringraziare il dott. G. Dellavalle, per le colture algali, il dott. S. Predonzani, per le analisi chimiche, la dott.ssa C. Salvi, per le analisi al CHN, il dott. V. Zuccarello, per l'analisi statistica, il dott. P. Kuhm ed il dott. P. Zini, per i campioni di zeolite A e di acidi policarbossilici.

BIBLIOGRAFIA

- Allredge, A.L. & C.C. Gotschalk. 1988. In situ settling behaviour of marine snow. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 339-351.
- Cabrini, M., S. Fonda Umani & G. Honsell. 1992. Mucilaginous aggregates in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic): analysis of phytoplankton communities in the period June-August 1989. In: Marine Coastal Eutrophication (R.A. Vollenweider, R. Marchetti & R. Viviani Eds.). Elsevier, Amsterdam: 557-568.
- Degobbis, D. 1989. Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea - second act. *Mar. Poll. Bull.*, 20: 452-457.
- Fanuko, N., J. Rode & K. Draslar. 1989. Microflora from the Adriatic mucous aggregations. *Biološki vestnik*, 37: 27-33.
- Fonda Umani, S., E. Ghirardelli & M. Specchi. 1989. Gli episodi di "mare sporco" nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Trieste.
- Guillard, R.R.L. 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: Culture of marine invertebrates animals (W.L. Smith & M.H. Chancy Eds.). Plenum Publishing Corporation, New York, N.Y.: 29-60.
- Herndl, G.J. & P. Peduzzi. 1988. The ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea: I. General considerations. *Mar. Ecol.*, 9: 79-90.
- Koroleff, F. 1983a. Determination of the silicon. In: Methods of Sea Water analysis (K. Grasshoff, K. Erhardt & K. Kremling Eds.). Verlag Chemie Weinheim: 174-183.
- Koroleff, F. 1983b. Determination of trace metals. In: Methods of Sea Water analysis (K. Grasshoff, K. Erhardt & K. Kremling Eds.). Verlag Chemie Weinheim: 242-244.

- Lagonegro, M. & E. Feoli. 1985. Analisi multivariata dei dati. *Libreria Goliardica - Trieste*, 182 p.
- Marchetti, R. 1990. Algal blooms and gel production in the Adriatic sea. In: Eutrophication-related phenomena in the Adriatic Sea and in other Mediterranean coastal zones (H. Earth & L. Fegan Eds.). *Wat. Poll. Res. Rep.*, CEE EUR 12978, 16: 21-42.
- Marchetti, R., M. Iacomini, G. Torn & B. Focher. 1989. Caratterizzazione preliminare degli essudati di origine fitoplanctonica raccolti in Adriatico nell'estate 1989. *Acqua-Aria*, 8: 883-887.
- Monti, M., G. Dellavalle, C. Welker, L. Casaretto & B. Cataletto. 1993. Analisi qualitativa degli aggregati mucilluginosi in una stazione del Golfo di Trieste (luglio 1991). *Biol. Mar.*, sup. S.I.B.M. 1: 27-29.
- Monti, M., C. Welker & S. Fonda Umani. 1994. Particulate organic carbon analyses in three marine diatoms under controlled conditions. *Giornale Botanico Italiano*, 128 (6): 44-46.
- Pettine, M., R. Passino & G. Chiaudani. 1992. Le mucillagini nei mari italiani. Dobbiamo ripensare la strategia anti-eutrofizzazione? *Inquinamento*, 9: 54-64.
- Revelante, N. & M. Gilmartin. 1991. The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous "macroaggregates" in the northern Adriatic during the summer of 1989. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 146: 217-223.
- Rinaldi, A., G. Montanari, A. Ghetti, C.R. Ferrari & N. Penna. 1990. Presenza di materiale mucilluginoso nell'Adriatico Nord-Occidentale negli anni 1988 e 1989. *Acqua-Aria*, 7/8: 561-567.
- Stachowitsch, M., N. Fanuko & M. Richter. 1990. Mucus aggregates in Adriatic sea: an overview of stages and occurrences. *Mar. Ecol.*, 11(4): 327-350.
- Uthermol, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. int. Ver. Theor. angew. Limnol.*, 9: 1-38.
- Volterra, L. & M. Bruno. 1991. Il problema delle mucillagini. *Collana ingegneria ambientale*. 4: 4-21.
- Welker, C & M. Monti. 1994. Polysaccharidic flocculation from the marine diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reimann & Lewin under nutrient starvation. *Giornale Botanico Italiano*, 128 (6): 47-50.

DISTRIBUZIONE ANNUALE DEL PICOPLANCTON IN UNA STAZIONE COSTIERA DEL GOLFO DI TRIESTE

Paola DEL NEGRO, Paola RAMANI, Elisa MARTECCHINI e Massimo CELIO

Laboratorio di Biologia Marina, Strada Costiera 336, 34010 Trieste, Italia

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the role of abiotic parameters on picoplankton distribution in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea).

During 1993-1994, a monitoring program was carried out monthly in a coastal station located 300 m offshore. The distribution of picophytoplankton is influenced by stratification of water column and seems to be affected by nitrogen-limitation. The population density of total picoplankton seems to be determined by the balance between their growth and their consumption by predators.

1. INTRODUZIONE

Le recenti conoscenze sul picoplancton come produttore di biomassa, il ruolo nella degradazione e mineralizzazione della sostanza organica e le sue relazioni trofiche all'interno della microlitosfera hanno portato, come conseguenza, a considerare con particolare riguardo gli organismi di dimensioni inferiori ai 2 μm . La loro distribuzione spazio-temporale, particolarmente studiata per la componente autotrofa (Fenchel, 1982; Azam et al., 1983; Fuhrman et al., 1985), appare influenzata da una molteplicità di fattori di tipo biotico ed abiotico, che, interagendo tra di loro, controllano le comunità sia dal punto di vista quantitative che produttivo.

Particolarmente importante risulta essere il *grazing* esercitato dai micropredatori. L'abbondanza cellulare, sia della frazione autotrofa che di quella eterotrofa, è determinata, infatti, dal bilancio dinamico tra la loro crescita ed il consumo da parte dei predatori (Fogg, 1986a). La temperatura sembra influenzare particolarmente la distribuzione della componente autotrofa: al di sotto dei 5 °C non è stata mai riscontrata la presenza di cianobatteri che raggiungono le massime densità cellulari alle latitudini tropicali. Per quanto concerne la disponibilità in nutrienti, il picoplancton autotrofo sembra prediligere acque oligotrofiche (Fogg, 1986a), mentre la densità cellulare della frazione eterotrofa aumenta in condizioni di eutrofia.

La distribuzione verticale del picoplancton è influenzata dalle condizioni di stabilità della colonna d'acqua ed è uniforme in zone che presentano fenomeni di turbolenza mentre in acque stratificate i valori massimi vengono raggiunti in prossimità del termocline. Secondo

Herbland & Le Bouteiller (1981) e Herbland et al. (1985) il nitroclino, più che il termoclino, sembra essere il fattore condizionante la distribuzione verticale. Gli organismi picoplanctonici raggiungono, infatti, nell'Atlantico equatoriale, le maggiori densità in corrispondenza all'aumento della concentrazione di nitrato.

Nonostante l'ambiente pelagico del Golfo di Trieste sia stato studiato intensamente fin dal 1800 (Fonda Umani et al., 1992), scarse e sporadiche sono le conoscenze sulla componente picoplanctonica. Gli unici studi riguardano la sua distribuzione nella parte orientale del Golfo (Turk et al., 1992) e, soprattutto, il ruolo svolto nella formazione della neve marina (Herndl, 1988). Per verificare l'influenza dei parametri abiotici sulla distribuzione della comunità picoplanctonica è stato condotto uno studio in una stazione costiera del Golfo di Trieste.

2. MATERIALI E METODI

In una stazione situata a circa 300 m dal promontorio di Miramare (Golfo di Trieste) sono stati prelevati mensilmente, con un campionatore Niskin, campioni d'acqua in superficie, a 5 m, a 10 m e sul fondo (17 m) per l'analisi dei nutrienti e la stima della concentrazione di picoplancton nel periodo compreso tra luglio 1993 e giugno 1994. Contemporaneamente sono stati rilevati i principali parametri idrologici (temperatura, salinità) utilizzando una sonda multiparametrica (Idronaut, mod. 401).

Per la determinazione dell'abbondanza cellulare del picoplancton totale ed autotrofo sono stati eseguiti conteggi diretti al microscopio ad epifluorescenza (Leitz, Diavert) provvisto di filtro di eccitazione nell'U.V., lamina dicroica, filtro di sbarramento e lampada a vapori di mercurio, usando un obiettivo ad immersione (100x) secondo il metodo di Porter & Feig (1980) modificato da Maugeri et al. (1990). L'analisi dei nutrienti è stata eseguita secondo il metodo di Grasshoff et al. (1983).

3. RISULTATI

La distribuzione verticale dei parametri chimico-fisici nella stazione considerata appare strettamente collegata all'andamento stagionale. Nei mesi invernali, da novembre a febbraio, la colonna d'acqua si presenta omogenea sia in temperatura che in scalinata (Figg. 1 e 2). La temperatura (Fig. 1) subisce, in questo periodo, una progressiva diminuzione passando dai 16 °C di novembre ai valori minimi di febbraio (7,2 °C al fondo). In marzo la colonna d'acqua è interessata dal riscaldamento radiativo alle quote superficiali. L'onda termica si espande, nel mese successive, lungo tutta la colonna d'acqua. In maggio è evidente un leggero gradiente termico negative, dalla superficie al fondo, di circa 1 °C. Tale stratificazione si accentua nei mesi estivi e, nell'agosto 1993, si osserva il massimo gradiente con temperature di circa 24,5 °C negli strati superficiali e di 22 °C al fondo. La distribuzione del campo di salinità viene influenzata dagli apporti d'acqua dolce da imputare principalmente ai fiumi Isonzo e Timavo che determinano la bassa salinità superficiale osservabile in primavera ed autunno nel Golfo di Trieste (Mosetti, 1984). Tale andamento viene confermato dai valori di salinità registrati durante il periodo considerate: si osserva, infatti, un gradiente alino positive negli strati superficiali riferiti ai campionamenti di ottobre e del periodo aprile-giugno (Fig. 2).

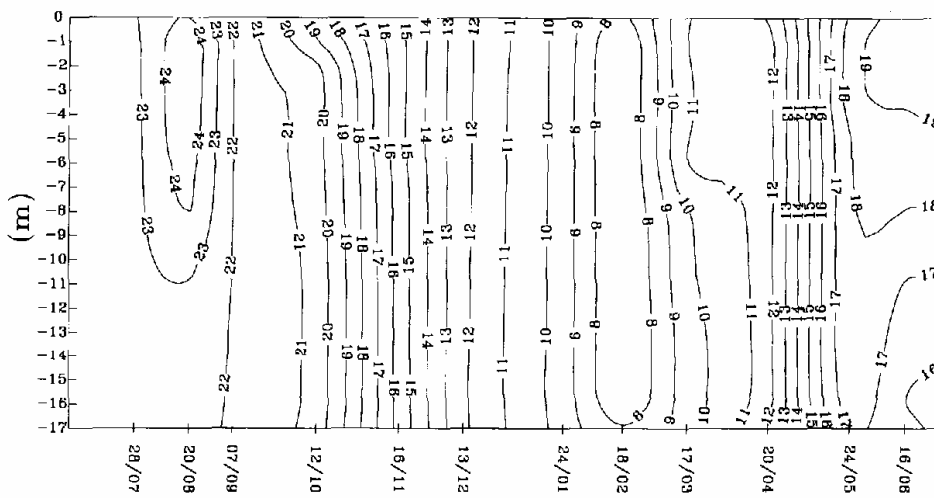


Fig. 1 - Distribuzione della temperatura ($^{\circ}\text{C}$) in una stazione costiera del Golfo di Trieste dal luglio '93 al giugno '94.

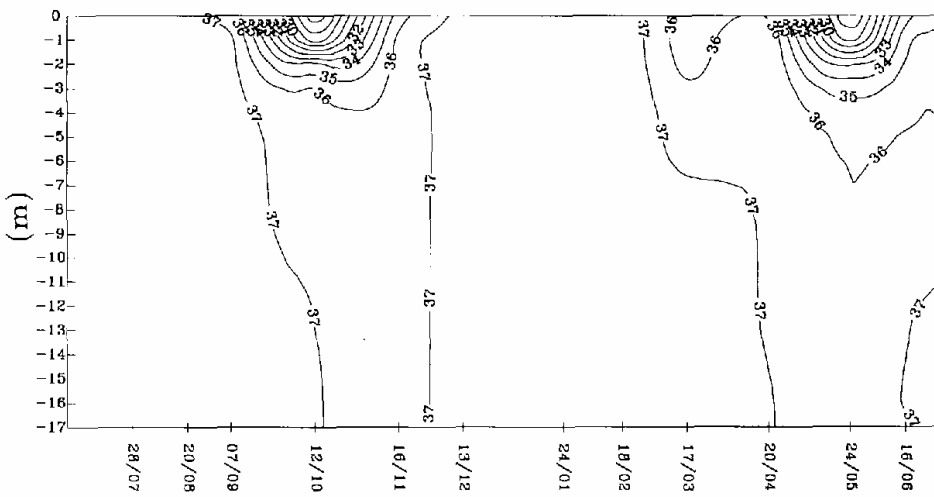


Fig. 2 - Distribuzione della salinità (psu) in una stazione costiera del Golfo di Trieste dal luglio '93 al giugno '94.

Le concentrazioni dei principali sali nutritivi presentano valori paragonabili a quelli già osservati nel Golfo di Trieste (Bregant et al., 1981). Le distribuzioni di P-PO₄ e soprattutto di N-NO₃ (Tab. 1) seguono l'andamento del campo di salinità. Concentrazioni più elevate si riscontrano, infatti, in ottobre, maggio e giugno alle quote superficiali. Alte concentrazioni di N-NH₃ si osservano prevalentemente nello strato prossimo al fondo in periodi di stratificazione termoclinale e sono da attribuirsi a fenomeni di rigenerazione e di limitata diffusione negli strati superiori. In generale, durante il periodo invernale, si rileva una certa disponibilità di sali nutritivi dovuta al mancato utilizzo da parte del fitoplancton per fotolimitazione (Burba et al., 1992).

Tab. 1 - Concentrazione dei principali sali nutritivi (n.d. = non determinato perchè inferiore ai limiti di rilevabilità del metodo; - = campione non analizzato).

umol/l	N-NH ₃				N-NO ₂				N-NO ₃				P-PO ₄			
	0	5	10	17	0	5	10	17	0	5	10	17	0	5	10	17
L	n.d.	1.58	0.16	0.30	n.d.	0.07	0.10	0.06	n.d.	4.00	0.63	0.35	n.d.	0.15	0.13	0.27
A	1.19	n.d.	0.79	2.37	n.d.	n.d.	0.03	0.18	n.d.	n.d.	0.02	0.37	0.23	0.14	0.19	0.15
S	0.92	0.92	1.12	0.70	0.12	0.14	0.05	0.05	0.05	0.04	0.49	0.43	0.19	0.14	0.10	0.07
O	0.06	0.17	1.56	2.76	0.25	0.16	0.23	0.23	10.75	3.12	1.13	3.21	0.16	0.12	0.15	0.28
N	1.71	1.59	1.81	2.50	0.17	0.12	0.17	0.17	1.46	1.75	1.55	3.04	0.09	0.09	0.09	0.11
D	0.71	1.61	0.87	0.51	0.75	0.97	0.76	0.80	1.96	1.80	1.37	1.63	0.23	0.13	0.12	0.09
G	0.41	0.28	0.39	0.47	1.59	1.61	1.58	1.61	4.71	10.25	10.45	5.54	0.13	0.05	0.57	0.12
F	0.79	0.15	0.38	0.26	0.40	0.26	0.38	0.40	1.34	0.54	1.16	1.00	n.d.	0.02	0.01	n.d.
M	-	1.16	0.44	0.78	0.14	0.18	0.11	0.13	1.45	1.56	0.43	0.32	n.d.	0.01	n.d.	0.02
A	0.13	0.51	0.55	1.01	0.16	0.23	0.23	0.24	1.44	1.58	1.63	1.70	0.04	0.02	n.d.	n.d.
M	0.15	0.05	0.36	0.47	0.33	0.16	0.15	0.13	16.31	1.81	1.28	0.97	0.33	0.27	0.26	0.25
G	0.47	1.02	1.10	2.14	0.14	0.21	0.13	0.14	14.77	1.52	0.48	0.52	0.24	0.23	0.22	0.20

La concentrazione del picoplancton totale nella stazione considerata (Fig. 3) è mediamente compresa tra 10^4 e 10^6 cell/ml. Le abbondanze più elevate si osservano alle quote superficiali e sub-superficiali, caratterizzate da una marcata variabilità temporale. Negli strati prossimi al fondo i valori sono sempre considerevolmente più bassi con una distribuzione temporale più omogenea. In superficie le concentrazioni più elevate vengono raggiunte in estate-autunno ed il valore massimo si osserva in ottobre ($1,4 \times 10^6$ cell/ml). Durante il periodo invernale le concentrazioni si abbassano sensibilmente. In marzo ed aprile si assiste ad un progressivo aumento a cui segue una brusca diminuzione in maggio con il raggiungimento dei valori minimi osservati ($5,6 \times 10^4$ cell/ml). A 5 m le concentrazioni estive sono sempre più elevate e raggiungono, come in superficie, il valore massimo in ottobre ($2,2 \times 10^6$ cell/ml). I mesi invernali sono caratterizzati da una generale diminuzione delle abbondanze, fatta eccezione per un lieve incremento in gennaio. Al rialzo primaverile segue, anche a questa profondità, il brusco decremento di maggio ($7,2 \times 10^4$ cell/ml). Alle quote prossime al fondo l'andamento, generalmente più uniforme, evidenzia il raggiungimento del valore massimo in ottobre e del valore minimo in maggio.

La componente autotrofa, i cui valori sono compresi tra 10^3 e 10^4 cell/ml (Fig. 4), è risultata costituita prevalentemente da cianobatteri. Poichè gli organismi eucarioti rappresentavano, in ogni campione osservato, meno dello 0,1% delle cellule contate, si è ritenuto non significativo considerare l'apporto numerico di questa componente. Le abbondanze più elevate di picoplancton autotrofo si raggiungono in superficie ed a 10m. L'andamento temporale evidenzia un massimo estivo in superficie ($1,1 \times 10^5$ cell/ml in agosto) seguito da un decremento che raggiunge il valore minimo in ottobre ($8,3 \times 10^3$ cell/ml). Da novembre le concentrazioni aumentano nuovamente e fino a febbraio, oscillano tra $1,1$ e $3,5 \times 10^5$ cell/ml. In maggio si raggiungono i valori minimi osservati con $7,8 \times 10^3$ cell/ml. La distribuzione temporale a 5 m è simile a quella superficiale ma i valori massimi non superano 10^4 cell/ml. A 10 m le massime concentrazioni si osservano in novembre e marzo ($9,2$ e $6,2 \times 10^4$ cell/ml), i minimi sempre in ottobre e maggio. Al fondo le abbondanze sono sempre sensibilmente più basse e non superano mai il valore massimo di $2,2 \times 10^4$ cell/ml rilevato in agosto. A questa profondità non si osserva il decremento netto di ottobre mentre il valore minimo si registra sempre in maggio ($2,1 \times 10^3$ cell/ml).

Gli organismi eterotrofi, le cui abbondanze si deducono dalla differenza tra il picoplancton totale e l'autotrofo, rappresentano la componente prevalente del picoplancton totale e solo al fondo aumenta percentualmente la frazione autotrofa.

4. DISCUSSIONE

L'abbondanza del picoplancton nella stazione considerata raggiunge valori dello stesso ordine di grandezza di quelli riscontrati da Bruni et al. (1987) per i mari italiani e da Turk et al. (1992) nella parte orientale del Golfo di Trieste.

La distribuzione del picoplancton autotrofo risulta influenzata dalle condizioni di stabilità della colonna d'acqua: è maggiore alle quote superficiali in condizioni di stratificazione, mentre in condizioni di completo rimescolamento le concentrazioni più elevate si osservano alle quote intermedie.

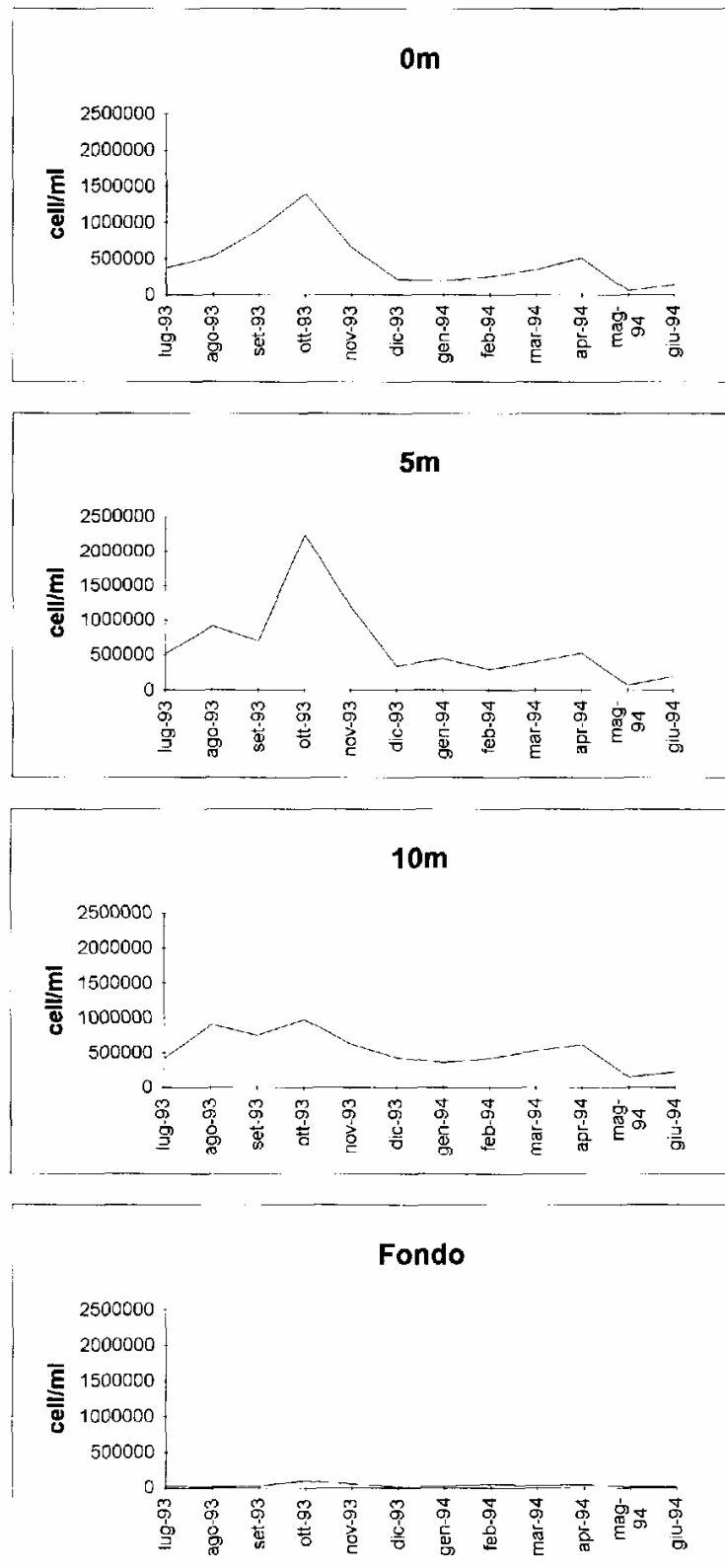


Fig. 3 - Variazione della densità del picoplancton totale a diverse profondità lungo la colonna d'acqua.

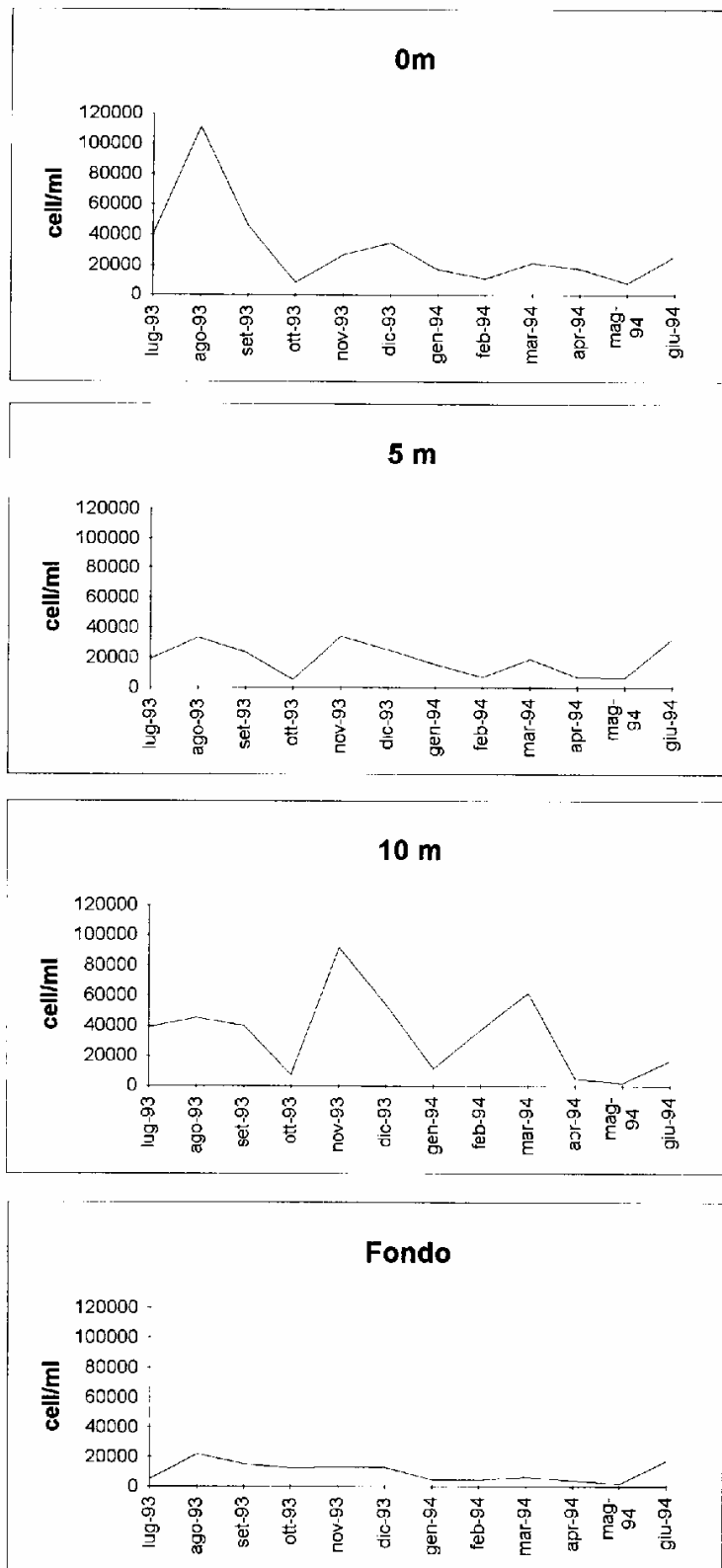


Fig. 4 - Variazione della densità del picoplancton autotrofo a diverse profondità lungo la colonna d'acqua.

La distribuzione spaziale non sembra influenzata dall'irradianza che, quando raggiunge valori pari all'1% della luce incidente, è un fattore determinante ai fini della moltiplicazione cellulare di tale componente (Glover et al., 1985; Putt & Prezelin, 1985; Wood 1985). La batimetria del fondale, che non supera i 17 m, e la trasparenza delle acque povere di materiale sospeso (Salvi, comunicazione personale) determinano infatti valori d'irradianza superiori all'1% anche sul fondo. L'andamento temporale segue l'andamento del campo di salinità: i valori minimi si osservano in coincidenza con i minimi alini (ottobre-maggio) quando le concentrazioni di sali nutritivi raggiungono i tenori più elevati. Anche l'aumentata disponibilità di N-NO₃, nel periodo invernale, soprattutto a 5 e 10 m in gennaio, si riflette in una diminuzione della componente autotrofa molto marcata a 10 m. Alte concentrazioni di nutrienti, ed in particolare di sali azotati, inibiscono (Ammerman et al., 1984; Herbland et al., 1985; El Hag & Fogg, 1986; Gordon et al., 1994), infatti, la crescita del picoplancton fotosintetico consentendo lo sviluppo del fitoplancton di dimensioni maggiori (Fogg, 1986b). In giugno, invece, alle elevate concentrazioni di N-NO₃ non corrisponde un minimo di picoplancton autotrofo. Un'ipotesi per spiegare ciò è che N-NO₃ non espliciti il suo effetto limitante perchè viene rapidamente utilizzato dalle diatomee normalmente presenti in questo periodo (Cabrini et al., 1992).

Il picoplancton totale è costituito prevalentemente da batteri eterotrofi da cui si può dedurre che, nella stazione considerata, l'utilizzazione della sostanza organica avvenga già alle quote superficiali. La distribuzione temporale è caratterizzata dall'incremento di individui osservato in ottobre e probabilmente dovuto all'aumentata disponibilità di sostanza organica originata da processi di essudazione e di escrezione da parte del fitoplancton e dello zooplancton. Il periodo tardo estivo è caratterizzato, infatti, da una discreta abbondanza di dinoficee e microzooplancton (Cabrini et al., 1992). In questo periodo sono rilevati anche i valori più elevati di N-NH₃ a conferma di una intensa attività di rimineralizzazione. Allo sviluppo picoplanctonico, in ottobre, non corrisponde un incremento proporzionato di nanoplancton flagellato (dati non pubblicati) capace di consumare batteri in quantità pari a quelle della stessa produzione batterica (Fogg, 1986). La fioritura primaverile di fitoplancton, tipica del Golfo di Trieste (Cabrini et al., 1992), determina l'incremento prevalentemente della frazione eterotrofa di aprile che viene prontamente controllato dai predatori flagellati presenti, in questo periodo, ad elevate concentrazioni (dati non pubblicati). Un'ulteriore ipotesi per spiegare il limitato sviluppo della componente picoplanctonica è che subisca una contaminazione da batteriofagi in grado di ridurre drasticamente la densità (Cochlan et al., 1992).

In conclusione si può affermare che le condizioni chimico-fisiche della colonna d'acqua influenzino notevolmente la distribuzione del picoplancton autotrofo mentre la frazione eterotrofa sembra essere maggiormente condizionata dalla relazione tra preda e predatore.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare la Prof. Serena Fonda Umani per la revisione critica del lavoro e soprattutto per aver incoraggiato questa ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- Ammerman, J.W., J.A. Fuhrman, A. Hagstrom & F. Azam. 1984. Bacterioplankton growth in seawater: I. Growth kinetics and cellular characteristics in seawater cultures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 18:31-39.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, L.A. Meyer-Reil & F. Thingstad. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 257-263.
- Bregant, D., G. Catalano & F. Moro. 1981. La distribuzione dei nutrienti nel Golfo di Trieste. *Convegno delle unita operative afferenti ai sottoprogetti: Risorse biologiche e Inquinamento marino*, Roma 10-11 Novembre 1981: 859-873.
- Bruni, V., G. Magazzu, T.L. Maugeri, L. Acosta Pomar & F. Decembrini. 1987. Ulteriori indagini sul picofitoplancton dei mari italiani. *Atti III Congresso Nazionale S.I.T.E.*, Siena 21-24 Ottobre 1987: 138.
- Burba, N., M. Cabrini, P. Del Negro, S. Fonda Umani & L. Milani. 1992. Variazioni stagionali del rapporto N/P nel Golfo di Trieste. *Atti 10° Congresso A.I.O.L.*, Alassio 4-6 Novembre 1992:333-344.
- Cabrini, M., B. Cataletto, S. Fonda Umani, L. Milani & C. Pavesi. 1992. Food webs in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Rapp. Comm. int. Mer Medit.*, 33: 367.
- Cochlan, W.P., J. Wikner, G.F. Steward, D.C. Smith & F. Azam. 1992. Spatial distribution of viruses, bacteria and chlorophyll *a* in neritic, oceanic and estuarine environments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 77-87.
- El Hag, A.G. & G.E. Fogg. 1986. The distribution of coccoid blue-green algae (Cyanobacteria) in the Menai Straits and Irish Sea. *Br. Phycol. J.*, 21: 45-54.
- Fenchel, T. 1982. Ecology of heterotrophic microflagellates. II. Bioenergetics and growth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8: 225-231.
- Fogg, G.E. 1986a. Picoplankton. *Proc. IV ISM E*: 96-100.
- Fogg, G.E. 1986b. The picoplankton. *Proc. R. Soc. London.*, B228: 1-30.
- Fonda Umani, S., P. Franco, E. Ghirardelli & A. Malej. 1992. Outline of oceanography and the plankton of the Adriatic Sea. In: *Marine Eutrophication and Population Dynamics*. (G. Colombo, I. Ferrari, V:U: Ceccherelli & R. Rossi Eds) *Proceedings of the 25th EMBS*: 347-365.
- Fuhrman, J.A., R.W. Eppley, A. Hagstrom & F. Azam. 1985. Diel variations in bacterioplankton, phytoplankton and related parameters in the southern California Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 27: 9-20.
- Glover, H.E., D.A. Phinney & C.S. Yentsch. 1985. Photosynthetic characteristics of picoplankton compared with those of larger phytoplankton populations, in various water masses in the Gulf of Maine. *Biol. Oceanogr.*, 3: 223-248.
- Gordon, N., D.L. Angel, A. Neori, N. Kress & B. Kimor. 1994. Heterotrophic dinoflagellates with symbiotic cyanobacteria and nitrogen limitation in the Gulf of Aqaba. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 107: 83-88.
- Grasshoff K., M. Ehrhardt, K. Kremling. 1983. Methods of seawater analysis. Grasshoff K., M. Ehrhardt, K. Kremling Eds, Verlag Chemie, Weinheim: 419 pp.
- Herbland, A. & A. Le Bouteiller. 1981. The size distribution of phytoplankton and particulate organic in equatorial Atlantic Ocean: Importance of ultrastolon and consequences. *J. Plankton Res.*, 3: 659-673.

- Herbland, A., A. Le Bouteiller & P. Raimbault. 1985. Size structure of phytoplankton biomass in the equatorial Atlantic Ocean. *Deep Sea Res.*, 32: 819-832.
- Herndl, G.J. 1988. Diel and spatial variations in bacterial density in a stratified water column of the Gulf of Trieste. *Frag. Oceanog.*, 21: 139-146.
- Maugeri, T.L. , L. Acosta Pomar & V. Bruni. 1990. Il picoplancton. In: Metodi per lo studio del plancton marino. *Nova Thalassia*, 10(2): 199-205.
- Mosetti, F. 1984. Caratteristiche fondamentali dell'idrologia dell'Adriatico. *Boll. Oceanol. Teo. Appl.* 2(2): 169-285.
- Porter, K.G. & Y.S. Feig. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol.Oceanogr.*, 25: 943-948.
- Putt, M. & B. Prezelin. 1985. Observations of diel patterns of photosynthesis in cyanobacteria and nanoplankton in the Santa Barbara Channel during "el Nino" *J. Plankton Res.*, 7: 779-790.
- Turk, V., N. Fanuko, U. Larsson, A. Malej & A. Hagstrom. 1992. Timescale of microbial foodweb dynamics in the shallow Gulf of Trieste (North Adriatic). In: The microbial food web: time scales and nutrient dynamics in the Gulf of Trieste (Ed. Università di Umea, Svezia): 1-21.
- Wood, A.M. 1985. Adaptation of photosynthetic apparatus of marine ultraphytoplankton to natural light fields. *Nature (Land)*, 316: 253-255.

METALLI PESANTIE IDROCARBURI POLICICLICIAROMATICI NEI SEDIMENTI DEL PORTO DI LIVORNO DA SOTTOPORRE AD ESCAVO

David PELLEGRINI¹, Antonella AUSILI¹, Massimo GABELLINI¹,
Roberta MORLINO¹ e Francesco MELLARA²

¹ICRAM, via L.Respighi 5, 00197 Roma

²Centro Interuniversitario di Biologia Marina, p.le Mascagni 1, 57127 Livorno

ABSTRACT

The present paper summarized the technical investigations to be performed before starting dredging activities. In Italy laws ruling such procedure are rather incomplete and ill-defined. Our study focused both grain-size and chemical features of 400,000 me sediments to be dredged in the Livorno harbour. A first 100,000 me bulk of sediments had been removed and dumped into the sea. Sediments still in place were mainly sand with Cr, Hg, Pb contents similar to those observed in undisturbed sediments in nearby marine zone. Instead, results show high cadmium and PAH concentrations.

1. INTRODUZIONE

In Italia la normativa che disciplina le attività di dragaggio dei materiali portuali è abbastanza frammentaria. I criteri più dettagliati che regolano attualmente lo sversamento di materiali in mare sono espressi nelle Delibere C.I.T.A.I. del 26 luglio 1978 e del 26 novembre 1980. Queste riportano, tra l'altro, una lista di sostanze il cui scarico in mare è vietato o sottoposto ad autorizzazione condizionata ed alcuni elementi tecnici, richiesti per il rilascio dell'autorizzazione, tra i quali le caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche del materiale dragato e le caratteristiche oceanografiche generali della zona di scarico. La normativa italiana non prevede comunque limiti di concentrazione per le sostanze chimiche presenti nei sedimenti. Unico riferimento è il D.P.R. n°915 del 10.09.1982 sullo smaltimento dei rifiuti tossici e nocivi, di difficile applicabilità nel caso dei dragaggi.

Per una corretta valutazione della destinazione dei materiali di risulta è indispensabile la conoscenza delle caratteristiche granulometriche, chimiche e microbiologiche dei sedimenti che devono essere dragati. Pur in condizioni ambientali molto variabili, come quelle che possono verificarsi all'interno di un porto, è necessario poter svolgere le operazioni di campionamento prima dell'inizio del dragaggio, "in situ", e non durante le fasi di carico del materiale. Questo anche per poter predisporre un utilizzo differenziato a seconda della qualità del sedimento da dragare (Pellegrini et al., 1992).

Inoltre, per definire la qualità dei materiali, considerando la eterogeneità delle sostanze che possono essere presenti nei sedimenti portuali, sarebbe importante eseguire anche alcuni test di tossicità, quali i saggi biologici (Burton, 1992; EPA/USACE, 1994).

La presente indagine, condotta sui sedimenti del Porto di Livorno, è stata avviata dopo il dragaggio di 100.000 m³ ed in seguito ad alcuni studi effettuati nell'area utilizzata per lo scarico (Pellegrini et al. 1993; Gabellini et al., 1994; Pellegrini et al., 1995), procedendo ad una serie di analisi di conferma e di integrazione circa la caratterizzazione granulometrica e chimica dei restanti 400.000 m³ da dragare.

2. CAMPIONAMENTO

Le aree del porto di Livorno interessate al dragaggio sono riportate in figura 1. Il volume di materiale da dragare era complessivamente di circa 400.000 m³, proveniente da tre diverse zone: il canale di accesso (100.000 m³), il Bacino S. Stefano (200.000 m³) e la Darsena Toscana (100.000 m³). La quota da raggiungere con il dragaggio era prevista a 13 m per le prime due zone e a 12,5 m per la Darsena Toscana. La campagna di prelievi è stata condotta nel marzo 1993. Le 12 stazioni di prelievo sono state distribuite nelle tre zone secondo un disegno di campionamento che ha tenuto conto sia delle superfici che dei volumi da dragare (Fig. 1), per cui nelle zone dove il volume da dragare era maggiore si è provveduto a prelevare un numero più elevato di carote per assicurare una maggiore rappresentatività del campione stesso.

Il campionamento è stato eseguito con un carotiere a gravità di 2 m di lunghezza e circa 6 cm di diametro. Le carote sono state subito congelate a - 20 °C e così conservate fino al momento della preparazione dei campioni per le diverse analisi: granulometrica e chimica. L'analisi granulometrica e le determinazioni del contenuto di cadmio, piombo, mercurio, cromo e di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono state effettuate su subcampioni corrispondenti ad uno strato di 5 cm preso nella parte superficiale, profonda e talvolta intermedia di ogni carota. Le carote avevano una lunghezza variabile tra 30 e 150 cm, a seconda del tipo di sedimento presente sul fondo.

3. MATERIALIE METODI

Per l'analisi granulometrica ogni carota è stata sezionata ed i campioni ricavati sono stati lavati ripetutamente con acqua ossigenata per eliminare la sostanza organica e quindi si è proceduto, mediante setacciatura in umido, alla separazione della frazione superiore a 63 µm. Quest'ultima, una volta essiccata, è stata sottoposta a setacciatura con setacci ASTM. La frazione inferiore a 63 µm è stata analizzata con sedigrafo a raggi X.

Per la determinazione del contenuto dei metalli pesanti (Hg, Cd, Pb e Cr), da ciascun campione, precedentemente omogeneizzato, è stata prelevata un'aliquota di circa 0,2 g che è stata mineralizzata in bombe di Teflon utilizzando un forno a microonde con una miscela degli acidi concentrati: cloridrico, nitrico, perclorico e fluoridrico. La determinazione analitica del metallo totale è stata effettuata con spettrofotometro ad assorbimento atomico con il metodo delle aggiunte standard. L'atomizzazione elettrotermica di Pb, Cr e Cd è stata effettuata in fornello di grafite e la determinazione del Hg totale è stata eseguita secondo la metodica dei vapori freddi dopo aggiunta di cloruro

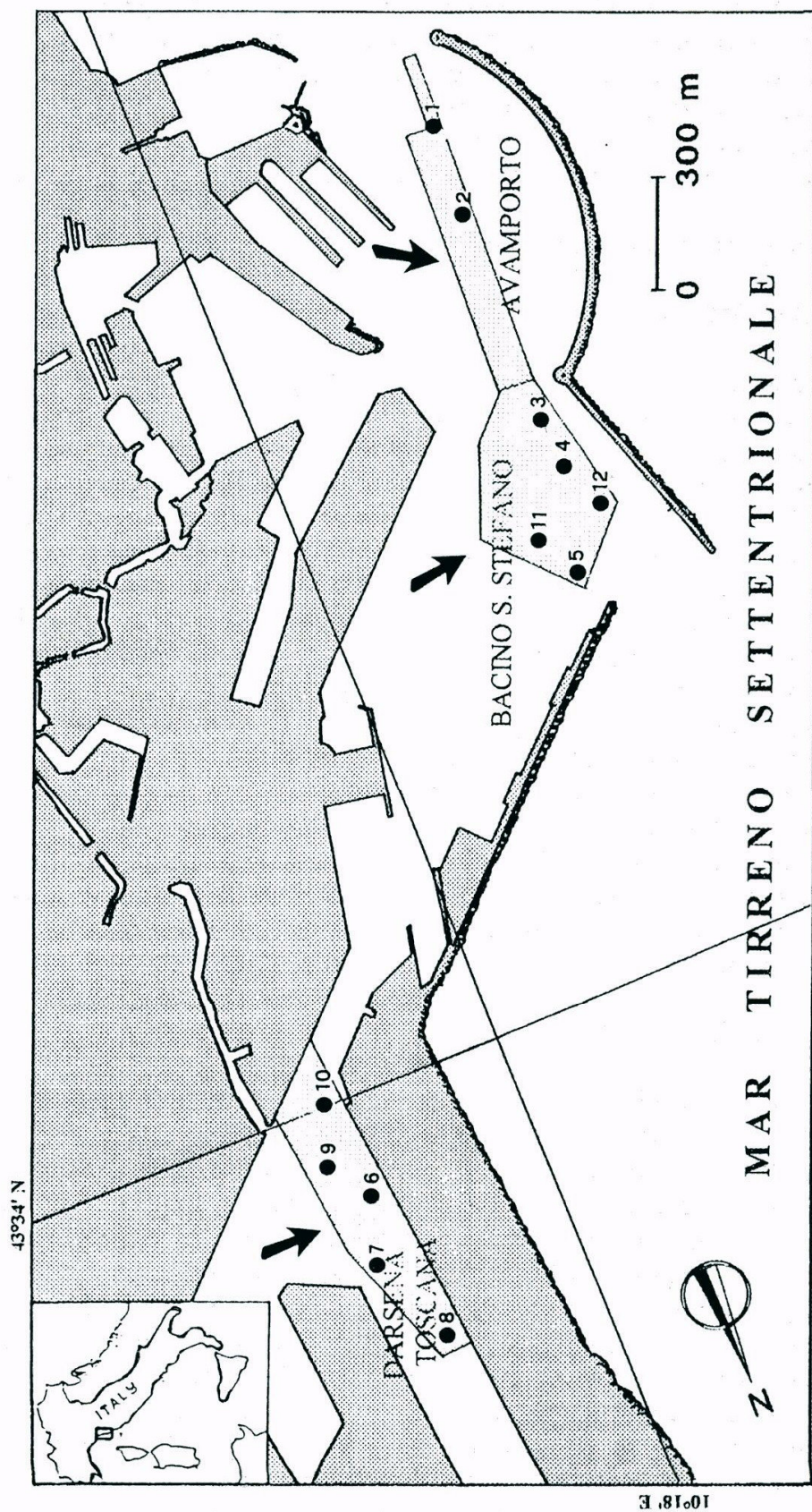


Fig. 1 - Area di studio e relative stazioni di campionamento

stannoso. La percentuale di recupero del metodo è stata calcolata utilizzando campioni di sedimenti marini certificati del National Research Council of Canada (BCSS-1). Tutte le concentrazioni dei metalli vengono espresso in funzione del peso secco.

Per la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), l'analisi è stata condotta su 20 g, peso umido, di campione, omogeneizzato e privato delle frazioni più grossolane; su alcuni subcampioni è stato determinate il peso secco. Una preliminare estrazione è stata effettuata con una miscela metanolo-benzene (1:1), in presenza di acqua estratta con diclorometano, seguita da altre due estrazioni con 50 ml di benzene. L'estratto viene, quindi, prima sottoposto a trattamento alcalino con potassa alcolica al 5 %, poi, tramite una soluzione di tetrabutylammoniosolfito, viene privato dello zolfo ed infine purificato attraverso una cromatografia di adsorbimento su gel di silice disattivata al 15 %. La determinazione quali-quantitativa è stata effettuata mediante cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC) con rivelatore a fluorescenza, con l'utilizzo di standard esterni. Il limite di rilevabilità è 0,01 µg/g peso secco. Sono stati ricercati 11 IPA tra i sedici indicati dall'EPA come contaminanti di rilevante importanza tossicologica (EP A/US ACE, 1994).

Prima di applicare questa metodologia ai campioni di sedimento, sono state effettuate prove di bianco e prove di recupero. Il recupero in presenza di matrice è risultato essere superiore all'80 % per la maggior parte degli IPA, un po' più basso per naftalene, fluorene e benzo(a)pirene (circa il 70 %), perchè volatili i primi due e facilmente decomponibile l'ultimo.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati delle analisi granulometriche sono illustrate nella tabella 1. Dall'esame dei risultati è emersa l'elevata presenza di sabbia in quasi tutti i campioni superficiali, con l'eccezione di alcune carote raccolte nell'area della Darsena Toscana dove si riscontra un elevato tenore di sedimenti argillosi. Si tratta generalmente di sabbie fini e molto fini, con una moda compresa tra 3 e 4 phi. Le sezioni profonde mostrano percentuali variabili della frazione sabbiosa a seconda delle stazioni, in alcune di queste è stata rilevata anche presenza di ghiaia.

Le concentrazioni dei metalli sono riportate negli istogrammi nelle figure 2 e 3. Tutti i metalli mostrano valori di concentrazione (mg/kg p.s.) piuttosto variabili: 0,03-1,4 (Cd); 54-278 (Cr); 0,03-0,53 (Hg) e 12,8-79,5 (Pb). Questo andamento non sembra dovuto solamente alle variazioni granulometriche dei sedimenti ma piuttosto ad una contaminazione antropica generalizzata, molto probabile all'interno di un porto con molte attività industriali come quello di Livorno. I valori più alti si ritrovano, per quasi tutti i metalli, nelle sezioni profonde delle stazioni 1, 5, 7 e 10. Queste stazioni risultano, peraltro, anche le uniche in cui i livelli di concentrazione sono maggiori nelle sezioni profonde rispetto alle superficiali. Una possibile spiegazione è la vicinanza di questi punti alle banchine del porto, laddove potrebbero essersi accumulati in tempi pregressi maggiori quantitativi di contaminati.

Nonostante l'elevata frazione sabbiosa, le concentrazioni totali di Cd sono superiori a quelle caratteristiche dei sedimenti della fascia costiera antistante (Pellegrini et al., 1995). Gli alti valori di Cd confermano l'anomala presenza del metallo riscontrata

nei sedimenti dell'area di scarico durante lo studio di controllo dopo lo sversamento dei primi 100.000m³ (Pellegrini et al., 1993).

Tab. 1 - Composizione granulometrica dei sedimenti portuali

	Campione	Profondità m	Sezione cm	Sabbia %	Silt %	Argilla %
AVAMPORTO	1	10	0÷6	35,8	74,2*	
	2	10,5	0÷6	42,8	57,2*	
BACINO S. STEFANO	3	12,5	0÷6 52÷58	34,5 4,5	38 54,4	27,5 41,1
	4	11,5	0÷6 82÷89	49,2 12,4	31,8 63,7	19 23,9
	5	11,5	0÷6 90÷96	50,2 14,2	28,7 47,1	21,1 38,7
	11	13	0÷8 40÷46	47,2 73,7	28,5 19,2	24,3 7,1
	12	8,5	3÷11 79÷85	60,2 63,9	24,3 27,2	15,5 8,9
	6	12,5	0÷6 64÷70	3,7 77,6**	35,5 13,4	60,8 9
DARSENA TOSCANA	7	11	0÷6 84÷90	3,7 48,5**	33,2 29	63,1 22
	8	12,5	0÷6 110÷116	15,5 2,2	30,1 26,9	54,4 70,9
	9	13	0÷6	35**	22,8	42,2
	10	11,5	0÷6 97÷104 144÷150	5,6 81,2 11,4	40,2 14,3 55,9	54,2 4,5 32,7

* pelite; ** presenza di ghiaia.

Per il cromo si ottengono valori sostanzialmente in accordo con quelli registrati nella zona dell'Alto Tirreno antistante le coste toscane. Le differenze con alcuni lavori riportati in letteratura sono da attribuire al metodo di digestione qui utilizzato che ha permesso la determinazione del cromo totale (Cosma et al., 1980; Pisani et al., 1992; Fabiano et al., 1994; Pellegrini et al., 1995).

Il mercurio non raggiunge mai concentrazioni superiori a 0,5 mg/kg. Nonostante l'alta variabilità di concentrazione, i valori ritrovati in questi sedimenti possono essere considerati normali per le coste tirreniche (Baldi et al., 1979; Baldi & Bargagli, 1984; Barghigiani et al., 1986).

Il piombo è presente in concentrazioni mediamente paragonabili a quelle delle zone costiere toscane (Pisani et al., 1992). Anche in questo caso un confronto con i sedimenti della precedente area di scarico (Pellegrini et al., 1993) evidenzia come

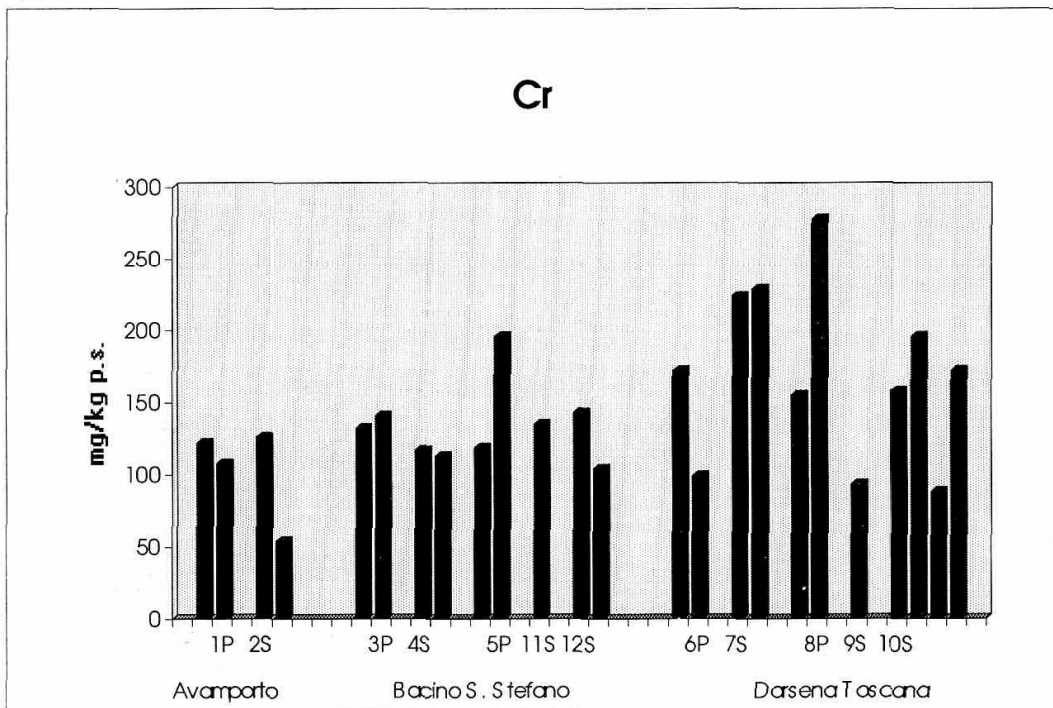
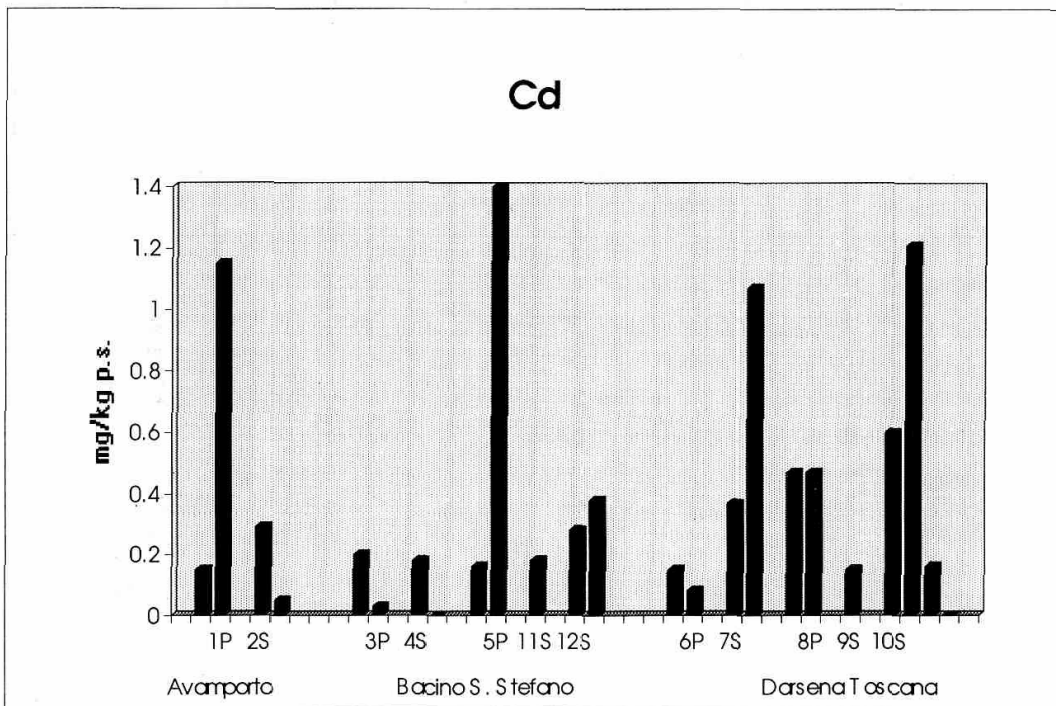


Fig. 2 - Concentrazione di cadmio e cromo nei sedimenti portuali

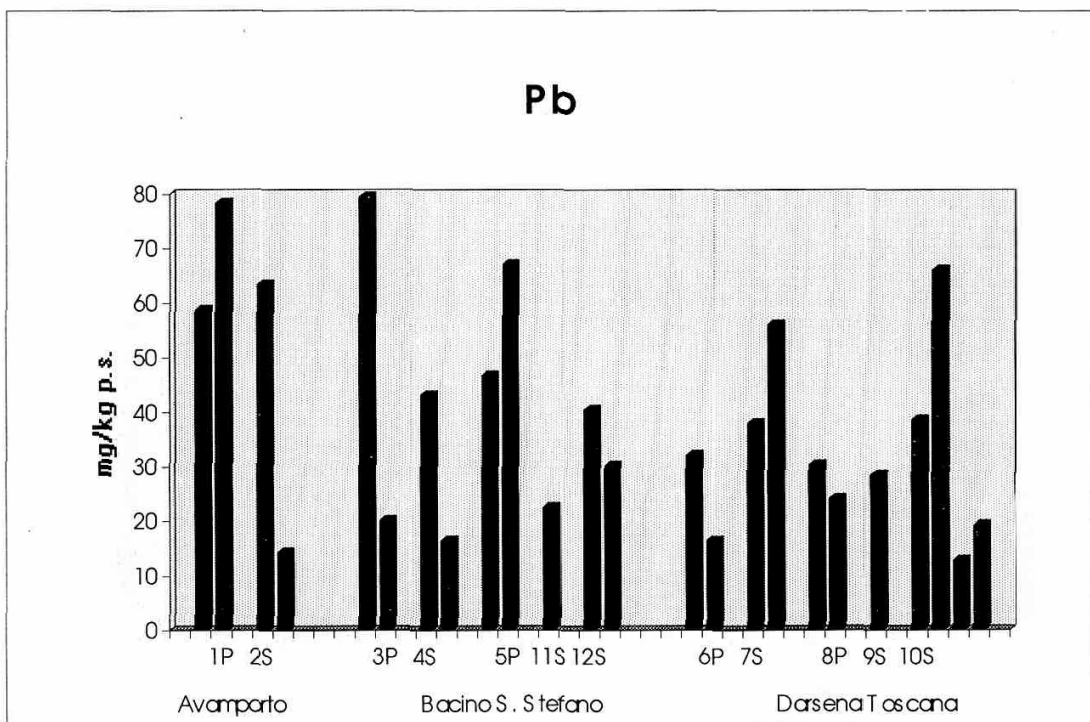
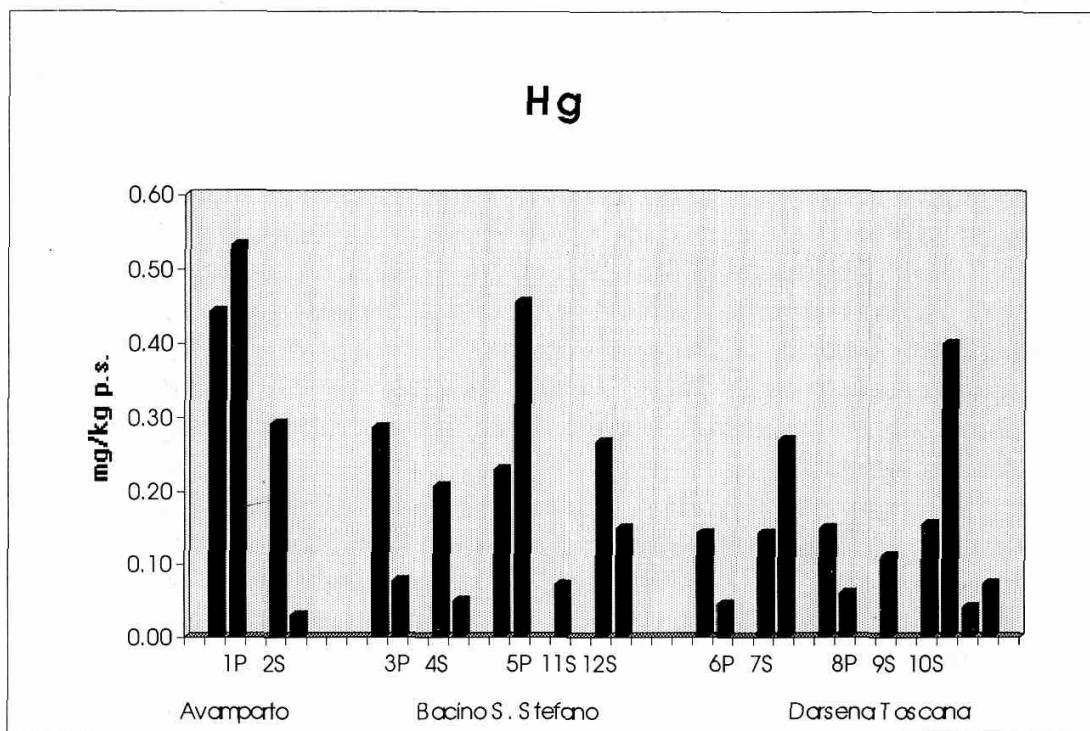


Fig. 3 - Concentrazione di mercurio e piombo nei sedimenti portuali

l'incremento della concentrazione del metallo registrata in quell'area fosse dovuta allo scarico dei sedimenti portuali.

Il contenuto di idrocarburi policiclici aromatici risulta particolarmente elevato in alcuni sedimenti della darsena Toscana (Tab. 2), bacino più interne al porto tra le zone considerate. Nel canale di accesso e nel Bacino di Santo Stefano è comunque presente una discreta contaminazione, conseguenza dell'elevato traffico di imbarcazioni e delle attività che si svolgono su questi tratti del Porto di Livorno, ma che non supera comunque i 5 mg/kg indicate dal Ministero dell'Ambiente, in occasione di altri dragaggi, come limite di riferimento per lo scarico in mare di materiale di risulta.

Per quanto riguarda la Darsena Toscana, le stazioni 6, 7 e 9 risultano essere quelle maggiormente inquinate. Questo elevato contenuto di IPA appare dovuto ad una contaminazione puntiforme talvolta rilevata anche dall'analisi macroscopica delle carote (es. nel caso della carota 7).

Vengono riportate in grafico le concentrazioni del benzo(a)pirene (Fig. 4), essendo una delle sostanze maggiormente riportata in letteratura date le sue conosciute proprietà tossicologiche (Neff, 1979); i livelli registrati risultano per la gran parte dei campioni confrontabili con quelli ritrovati nei sedimenti della piattaforma dell'Alto Tirreno (Boniforti, 1992).

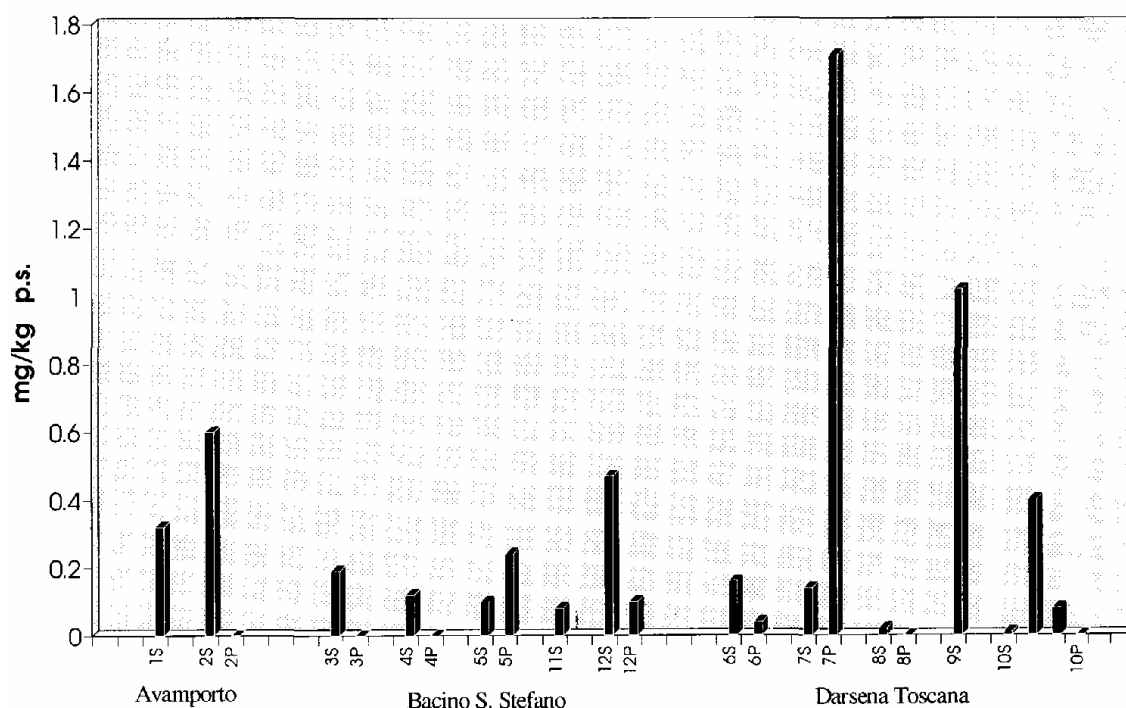


Fig. 4 - Concentrazione (mg/kg p.s.) del benzo(a)pirene nei campioni portuali

Tab. 2 - Concentrazione (mg/kg p.s.) degli IPA nelle sezioni delle carote di sedimento analizzate

Camp.	Sezione (cm)	Concentrazione (mg/kg p.s.)										Totale		
		Naftalene	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Pirene	Crisene	Benz(a) antracene	Benz(b) fluorantene	Iteno(a) pirene	Dibenz (a,b) antracene		Benzo (g,h,i) perilene	
Avamporto	1	0-6	<0,01	0,12	0,06	0,36	0,19	0,47	0,34	0,51	0,32	0,03	0,11	2,51
	2	0-6	<0,01	0,1	0,04	0,25	0,18	0,37	0,24	0,33	0,6	<0,01	<0,01	2,11
		20-27	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3		0-6	0,01	0,11	<0,01	0,24	0,19	0,27	0,18	0,28	0,19	<0,01	<0,01	1,47
		52-58	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
		0-6	<0,01	0,05	0,06	0,25	0,08	0,17	0,1	0,23	0,12	0,02	0,11	1,19
4		89-95	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Bacino S. Stefano	5	0-6	<0,01	0,07	0,05	0,24	0,15	0,08	0,21	0,1	0,01	0,09	1,15
			90-96	<0,01	0,05	0,04	0,17	0,21	0,2	0,08	0,28	0,24	<0,01	0,08
	11	0-6	<0,01	0,03	0,01	0,07	0,1	0,08	0,03	0,14	0,08	<0,01	0,09	0,63
12		3-11	<0,01	0,23	0,12	0,65	0,47	0,65	0,41	0,62	0,47	<0,01	0,34	3,96
		79-85	<0,01	0,08	0,05	0,33	0,12	0,18	0,11	0,14	0,1	<0,01	0,08	1,19
	6		0-6	<0,01	0,18	0,08	0,43	0,2	0,39	0,22	0,28	0,16	0,03	0,15
		64-70	0,01	0,04	0,71	0,26	4,06	1,15	0,88	1,28	0,04	0,05	0,44	8,97
7		0-6	0,01	0,12	0,04	0,27	0,16	0,25	0,15	0,15	0,14	<0,01	0,12	1,28
		84-90	0,03	3,92	15,56	67,39	12,13	11,77	5,49	2,59	1,71	0,21	0,64	121,44
Darsena Toscana	8	0-6	<0,01	0,02	0,02	0,12	0,03	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	<0,01	0,36
		110-116	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02
9		0-6	0,04	0,1	0,49	5,34	4,27	1,42	1,13	1,29	1,02	0,8	0,55	16,45
	10		0-6	<0,01	0,07	0,04	0,3	0,09	0,14	0,1	0,18	0,01	0,04	0,98
			72-78	<0,01	0,01	0,05	0,26	0,29	0,21	0,18	0,45	0,4	0,11	0,01
	94-100	<0,01	0,01	<0,01	0,08	0,05	0,06	0,07	0,07	0,13	0,08	<0,01	0,02	0,5
	145-150	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01

5. CONCLUSIONI

Le attività svolte hanno consentito una più dettagliata caratterizzazione dei sedimenti del porto di Livorno da sottoporre a dragaggio e scarico in mare. I sedimenti da escavare sono risultati essere prevalentemente di tipo sabbioso, in particolare quelli delle aree più esterne del porto, e tali da poter prendere in considerazione anche l'ipotesi di una separazione meccanica per un eventuale recupero delle sabbie. I livelli dei contaminanti inorganici ed organici considerati ricadono generalmente negli intervalli di concentrazione dei sedimenti della fascia costiera antistante; più alti valori di concentrazione del cadmio e, in misura minore del piombo, dovranno essere attentamente valutati.

Un obiettivo future sarà quello di valutare la tossicità complessiva di sedimenti da sottoporre ad attività di dragaggio, che difficilmente può essere fornita dalla ricerca di singole specie chimiche. Tale ricerca rimane comunque necessaria, soprattutto per una regolamentazione di tipo normativo.

BIBLIOGRAFIA

- Baldi, F. & R. Bargagli. 1984. Mercury pollution in marine sediments near a chlor-alkali plant: distribution and availability of the metal. *Sci. Total Environ.*, 39: 15-26
- Baldi, F., R. Bargagli & A. Renzoni. 1979. The distribution of mercury in the surficial sediments of the Northern Tyrrhenian Sea. *Mar. Poll Bull*, 10: 301-303.
- Barghigiani, C., D. Pellegrini, D. Gioffrè, S. De Ranieri & R. Bargagli, 1986. Preliminary results on mercury content in *Citharus linguatula* (L.) in the Northern Tyrrhenian Sea - *Mar. Poll. Bull.*, 17: 424-427.
- Boniforti, R. 1992. - Determinazione di composti organici nell'area destinata agli scarichi dei fanghi provenienti dal dragaggio del Porto di Livorno. In: Rapporto finale sulla caratterizzazione del sito di discarica dei fanghi di escavo del porto di Livorno in relazione allo sversamento dei primi 100.000 m³ di materiale. ENEA Centra Ricerche Ambiente Marino, S.Teresa SP, Vol. III: 71-77.
- Burton, G.A. jr. 1992. Sediment toxicity assessment. Lewis Publishers, Chelsea, Massachusetts, 457 pp.
- Cosma, B., M. Drago, M. Piccazzo & S. Tucci. 1980. Heavy metals in high Tyrrhenian sea sediments: distribution of Cr, Cu, Ni and Mn in superficial sediments. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat.*, Memorie, Serie A, 87: 145-161.
- EPA/USACE. 1994. Evaluation of dredged material proposed for discharge in waters of the U.S. Testing manual (Draft). EPA-823-B-94-002, Washington, D.C.
- Fabiano, M., R. Danovaro, E. Magi & A. Mazzuccotelli. 1994. Effects of Heavy Metals on Benthic Bacteria in Coastal Marine Sediments: a Field Result *Mar. Poll. Bull*, 28: 18-23.
- Gabellini, M., D. Pellegrini, M. Giani, F. Spagnoli & S. Zanolì. 1994. Dati preliminari sulla variazione dei caratteri granulometrici dell'area di scarico dei materiali dragati dal porto di Livorno. *Atti del X Congresso A.I.O.L.*, Alassio 4-6 Novembre 1992: 367-374.

- Neff, J.M. 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. Applied Science Publishers. London, 260 pp.
- Pellegrini, D., M. Gabellini, M. Giani & C. Barbera. 1992. L'impatto ambientale nelle attività di dragaggio portuale. *VIA*, 21: 37-45.
- Pellegrini, D., M. Giani, M. Gabellini, A.M. Cicero, M.G. Natale, C. Barghigiani & F. Mellara. 1993. Disposal of harbour dredging materials in Italy: two cases of study. Proceedings of the CATS II Congress, Antwerp (Belgium), 15-17 Novembre 1993:42-47.
- Pellegrini, D., M. Giani, F. Mellara & M. Gabellini. 1995. Trace metals distribution in a dredge material disposal site of the northern Tyrrhenian sea. *Rapp. Comm. int. Mer Medit*, 34: 142.
- Pisani, B., F. Righini & D. Gambicorti. 1992. Ricerca del contenuto in metalli pesanti nei sedimenti marini. In: Rapporto finale sulla caratterizzazione del sito di scarica dei fanghi di escavo del porto di Livorno in relazione allo sversamento dei primi 100.000 m³ di materiale. ENEA Centra Ricerche Ambiente Marino, S. Teresa SP, Vol. III: 57-64.

L' USO DI UN SENSORE POLAROGRAFICO PER L'OSSIGENO IN MISURE DI PRODUZIONE PRIMARIA CON COLTURE DI *SCENEDESMUS* *OBLIQUUS*

Giuseppe MORABITO¹, Miguel OLAIZOLA² e Dirk Wal VAN DER LINDE².

¹ C.N.R. - Istituto Italiano di Idrobiologia - 28048 Verbania-Pallanza (VB).

² J.R.C. - Institute for Remote Sensing Applications - 21020 Ispra (VA)

ABSTRACT

This research was carried out at the laboratories of the J.R.C.-I.R.S.A. with the support of the Commission of the European Communities in the frame of a convention between the Joint Research Centre in Ispra and the "Istituto Italiano di Idrobiologia" in Pallanza

Our efforts were directed towards the adjustment of a polarographic oxygen sensor to measure the photosynthetic oxygen evolution and the respiratory uptake by phytoplankton. This instrument allows for continuous recording of the metabolic activity of an algal sample.

The electrode is a dark-type electrode, similar to that developed by Delieu & Walker (1972). The chamber containing the sample has been modified in order to carry out aqueous phase measurements.

The present paper firstly report the calibration procedure of the sensor, giving some suggestions in order to minimize the influence of external variables, such as temperature, on the electrode response.

In the second part of the paper the results of some experiments designed to measure the photosynthetic activity of algal cultures grown in different conditions are reported.

Moreover are presented the results of other experiments, carried out using cultures with decreasing densities, in order to find the optimum density for the measurement of the photosynthetic activity and the lower sensitivity limits of the electrode. According to these results the possibility to use this device to measure the primary productivity of algal populations taken from natural environment is discussed.

1. INTRODUZIONE

A partire dall'autunno 1993 è stata avviata una collaborazione tra il C.N.R.-Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza e l'Institute for Remote Sensing Applications del Centro Comune di Ricerca di Ispra. Lo scopo di tale collaborazione era di confrontare

metodi tradizionali ed innovativi per la misura dell'attività fotosintetica in ambienti acquatici. Tale progetto è stato sviluppato da un lato, effettuando una serie di misure di produzione primaria nel bacino del Lago Maggiore, dall'altro conducendo alcuni esperimenti in laboratorio con l'uso di colture algali. Nell'ambito della ricerca svolta in laboratorio è stato messo a punto un elettrodo polarografico per la determinazione dell'ossigeno disciolto, onde poter utilizzare questo strumento per stimare l'attività fotosintetica di colture algali.

L'uso di questo strumento offre numerosi vantaggi rispetto ai metodi più tradizionali, infatti è relativamente semplice da utilizzare, non richiede l'uso di reagenti chimici né di radioisotopi, i fenomeni di produzione e respirazione vengono misurati in tempo reale, senza la necessità di incubare il campione, riducendo notevolmente la durata di ogni esperimento ed eliminando i problemi legati al confinamento delle alghe in bottiglia per lunghi periodi.

2. MATERIALIE METODI

Il sensore utilizzato è del modello Hansatech LD-1, simile a quello sviluppato da Delieu & Walker (1972): i due elettrodi (catodo di platino ed anodo d'argento) sono saldati in una matrice di resina epossidica; il ponte è costituito da KCl ed una sottile membrana in teflon permeabile all'ossigeno ricopre i due elettrodi (Fig. 1).

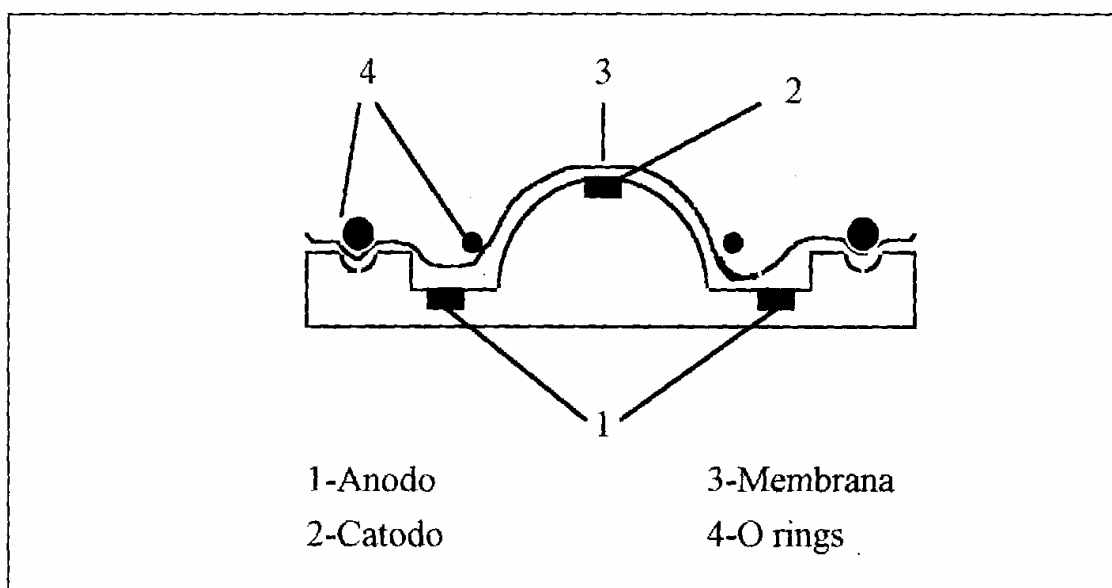


Fig. 1 - Sezione schematica dell'elettrodo per l'ossigeno Hansatech LD 1.

La camera di reazione è stata invece interamente progettata e costruita presso il CCR di Ispra (Fig. 2). La parte superiore del sensore (dove si trova il catodo) emerge al

fondo di una cella emisferica di teflon, che può ospitare circa 10 ml di campione. La cella è avvitata all'interno di un contenitore cilindrico in acciaio, la cui meta superiore è cava: all'interno della cavità può essere fatta circolare dell'acqua a temperatura costante allo scopo di mantenere invariata la temperatura di funzionamento dell'elettrodo, poiché la differenza di potenziale varia in funzione della temperatura, come hanno dimostrato alcuni esperimenti eseguiti durante la messa a punto dello strumento. In particolare, ogni aumento di T di 1 °C determina un aumento di circa 30 mV nella d.d.p. tra gli elettrodi (Fig. 3). IL sensore è mantenuto in posizione da un disco di plastica che si avvita sul cilindro d'acciaio. La cella è chiusa superiormente da una testa di teflon, nella quale è stata praticata un'apertura, attraverso cui è possibile inserire una guida-luce a fibre ottiche per l'illuminazione del campione. Questa è stata ottenuta per mezzo di una lampada Schott KL-1500 ad intensità luminosa variabile ($380-6000 \mu E m^2 sec^{-1}$): intensità più basse sono state ottenute con dei filtri che riducevano la luce trasmessa al 2% ed al 20% del valore iniziale. L'esatto valore delle diverse intensità luminose è stato misurato ponendo sul fondo della cella sopra descritta, al posto dell'elettrodo, una piccola fotocellula (LI-COR Li 190 SZ) accoppiata al *data logger* LI-COR Li 1000. Per gli esperimenti è stata utilizzata una coltura di *Scenedesmus obliquus*, proveniente dall'Istituto di Fisiologia Vegetale dell'Università di Göttingen (Germania) (Ceppo 276-1).

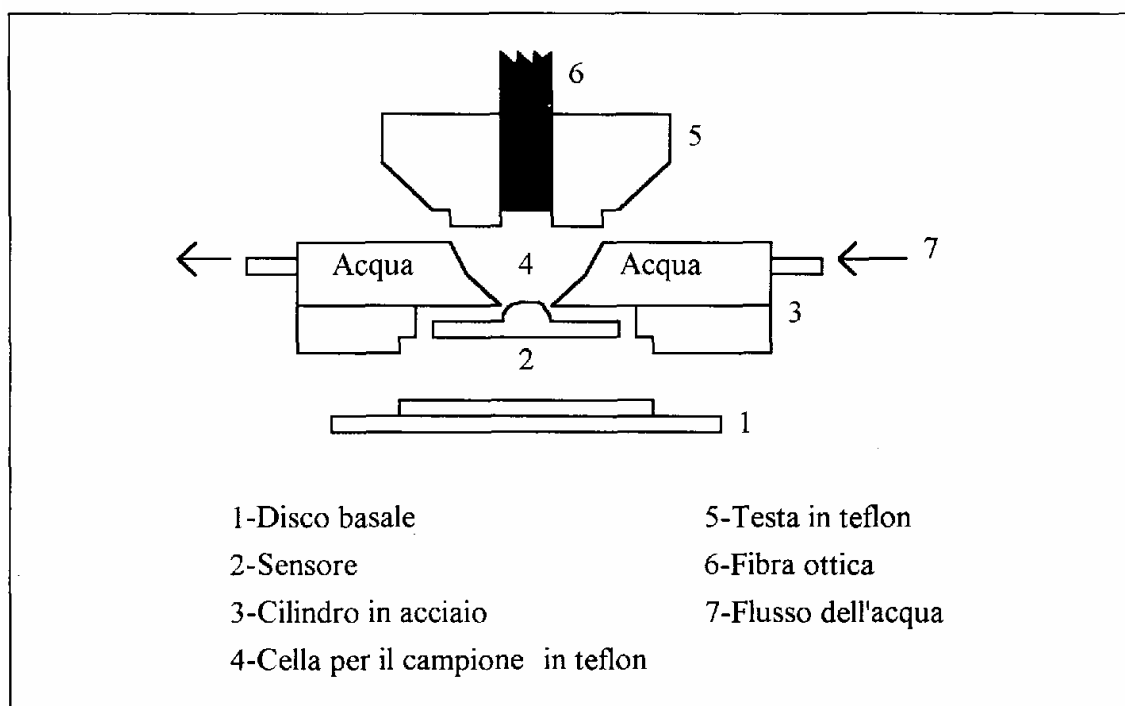


Fig. 2 - Sezione schematica della camera di reazione.

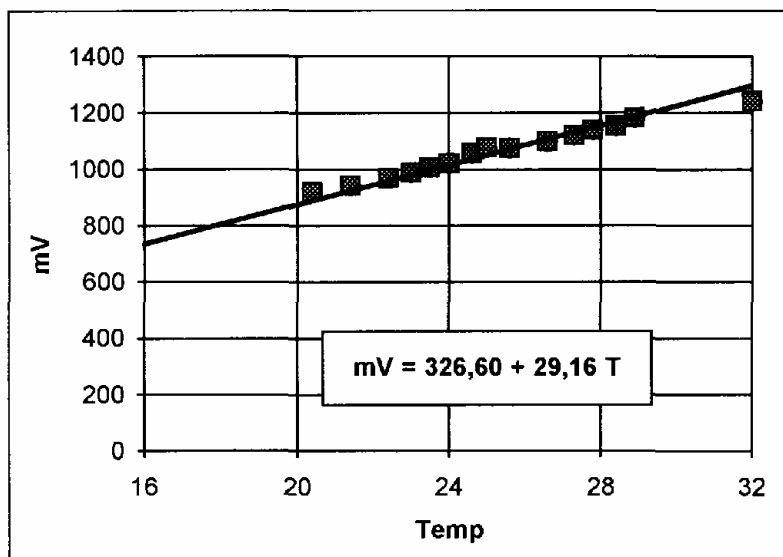


Fig. 3 - Correlazione tra temperatura e differenza di potenziale.

3. CALIBRAZIONE DEL SENSORE POLAROGRAFICO

La misurazione dell'ossigeno in fase acquosa richiede che il campione sia sottoposto ad agitazione continua, data la lenta diffusione dell'ossigeno nell'acqua.

L'azzeramento dello strumento viene eseguito riempiendo la cella con acqua deionizzata ed aggiungendo a questa pochi cristalli di sodio-ditionite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) che consumano l'ossigeno disciolto. Una volta regolato il valore di lettura su 0 mV è necessario impiegare una soluzione a concentrazione di ossigeno nota per operare la conversione da mV a mg l^{-1} di O_2 . Tale soluzione è rappresentata da acqua deionizzata equilibrata a temperatura ambiente con l'atmosfera circostante: una soluzione siffatta si presume satura di ossigeno e la concentrazione di questo può essere calcolata, una volta nota la temperatura dell'acqua, con l'equazione di Truesdale & Downing (1954):

$$\text{mg l}^{-1}\text{O}_2 = 14.16 - 0.3943 T + 0.007714 T^2 - 0.0000646 T^3$$

4. DESCRIZIONE DEGLI ESPERIMENTI E RISULTATI OTTENUTI

Gli esperimenti effettuati avevano lo scopo di verificare le possibilità applicative dell'elettrodo misurando il tasso fotosintetico di colture algali in differente stato fisiologico.

In un primo esperimento è stata considerata la variabilità legata alla diversa età delle cellule algali, utilizzando due colture di *S. obliquus* rispettivamente di 8 giorni ed 1

giorno. In questo caso è stata usata una intensità luminosa fissa, corrispondente a circa $380 \mu\text{E m}^2 \text{sec}^{-1}$. Poiché la crescita di una coltura algale segue una curva esponenziale nei primi giorni, raggiungendo la fase stazionaria dopo circa una settimana, nell'esperimento effettuato era logico attendersi una relazione inversa tra l'età della coltura ed il tasso di fotosintesi, come effettivamente è stato osservato (Tab. 1). Il tasso respiratorio delle due popolazioni è risultato pressoché equivalente e molto vicino al tasso di fotosintesi della coltura più vecchia, ad indicare una crescita netta prossima allo zero, tipica della fase di crescita stazionaria.

Tab. 1 - Tassi di produzione e respirazione delle colture di età differente.

Densità (cell./ml)	Età (giorni)	Produzione ($\mu\text{g O}_2\text{cell}^{-1}\text{min}^{-1}$)	Respirazione ($\mu\text{g O}_2\text{cell}^{-1}\text{min}^{-1}$)
$18,20 \times 10^6$	8	17,58	11,54
$2,66 \times 10^6$	1	26,32	11,28

In un successivo esperimento, la cui durata complessiva è stata di cinque giorni, è stata considerata la variabilità del tasso di fotosintesi in condizioni di crescita limitata dalla disponibilità di nutrienti. Nella fase preliminare (giorno 0) è stata misurata la produzione di una coltura di *S. obliquus* a 20 diverse intensità luminose, allo scopo di tracciare una curva luce-fotosintesi e scegliere le intensità di luce più adatte (Fig. 4). Queste sono state ridotte, nei giorni successivi, a 10, che coprivano l'intervallo da 5 a $710 \mu\text{E m}^2 \text{sec}^{-1}$. Dopo il primo giorno sperimentale è stata preparata una seconda coltura, trasferendo circa 200 ml della coltura originale in un terreno di crescita privo di nitrato. Nei successivi quattro giorni è stata misurata l'attività fotosintetica delle due colture: le rispettive curve luce-fotosintesi, normalizzate per la densità, sono riportate nella figura 5, dalla quale è evidente come il tasso fotosintetico della coltura N-limitata diventi progressivamente più basso dal giorno 1 al giorno 3 (P_{max} rispettivamente uguale al 51%, 28% e 23% del valore fatto registrare dalla coltura normale). Tra il giorno 3 ed il giorno 4 la coltura N-limitata è stata rifornita di nitrato ed infatti nella figura 5 si osserva il rapido recupero del suo tasso fotosintetico ($P_{\text{max-N-limitata}}$ equivalente al 62% di $P_{\text{max-normale}}$)

A seguito dei positivi risultati ottenuti in questi esperimenti è cominciata una nuova fase della ricerca, con l'intento di valutare la possibilità di utilizzare questo strumento in misure di produzione primaria con campioni provenienti da ambienti naturali. Il primo passo in questa direzione è stato quello di ricercare i limiti di sensibilità dello strumento, ovvero individuare la concentrazione minima di alghe necessaria per misurare con sicurezza una attività fotosintetica.

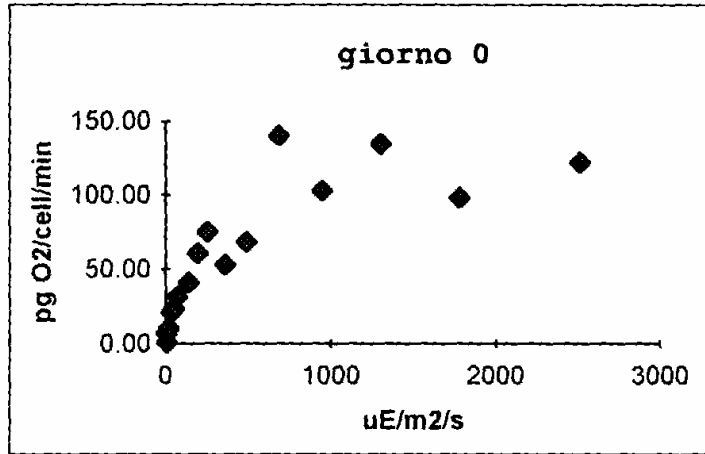


Fig. 4 - Fotosintesi della coltura originale a 20 diverse intensità luminose

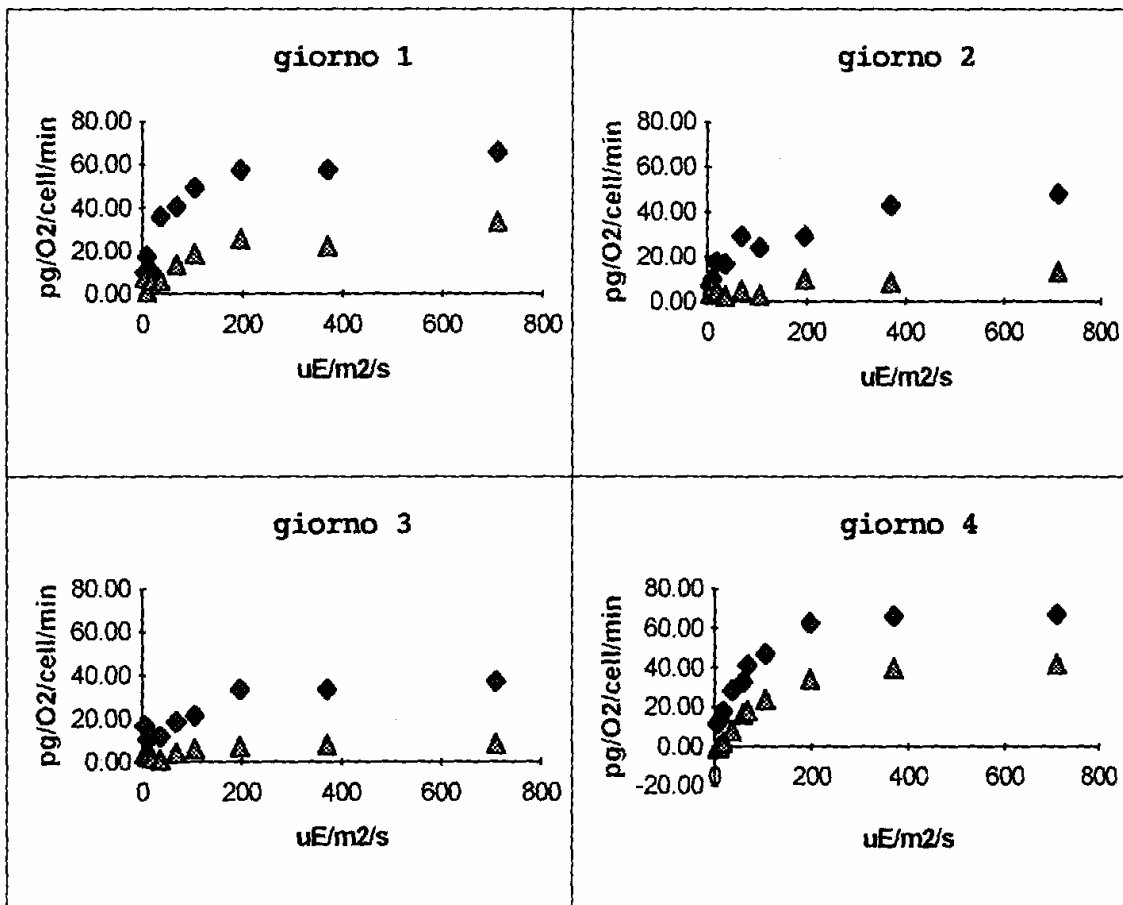


Fig. 5 - Fotosintesi della coltura normale (quadrato) e di quella N-limitata (triangolo) nei diversi giorni sperimentali

Inizialmente è stato misurato il tasso di fotosintesi di una coltura di *S. obliquus* avente una densità di 3.150.000 cell ml⁻¹ (Fig. 6). Questa stessa coltura è stata poi diluita al 10 % della concentrazione iniziale, mescolando 1 ml di sospensione algale con 9 ml di terreno di coltura (concentrazione finale = 295.000 cell ml⁻¹), ed il tasso fotosintetico è stato nuovamente misurato. Il giorno successivo sono state preparate altre due diluizioni della coltura originale (che nel frattempo aveva raggiunto una densità di 3.700.000 cell ml⁻¹) corrispondenti rispettivamente al 6 ed al 5% del valore iniziale (220.000 e 175.000 cell ml⁻¹). Le curve luce-fotosintesi registrate con l'uso delle colture diluite sono riportate in figura 7.

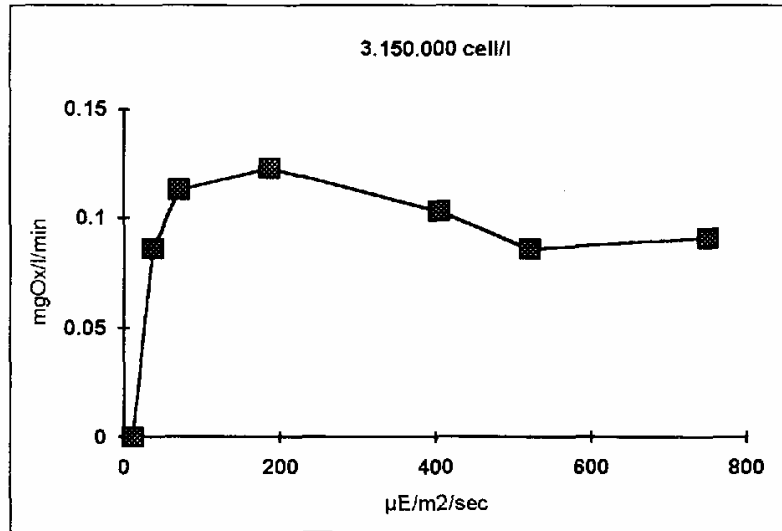


Fig. 6 - Curva luce-fotosintesi della coltura non diluita.

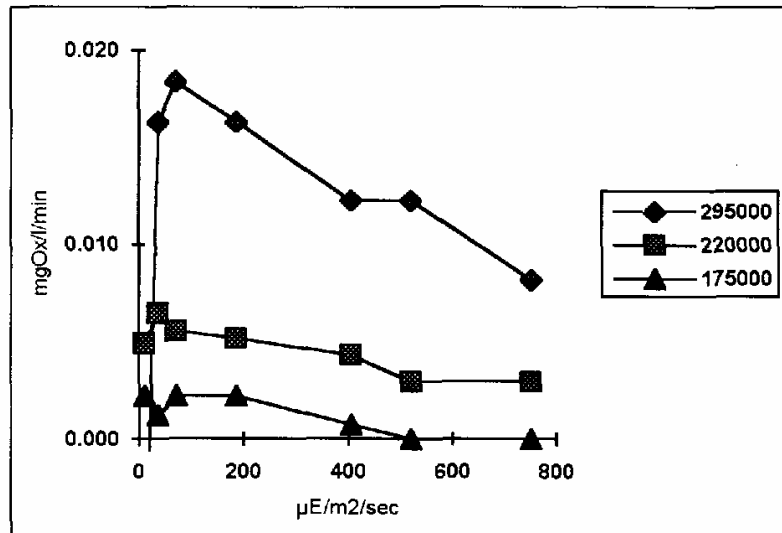


Fig.7 - Curve luce fotosintesi delle colture diluite.

Le differenze di potenziale registrate dall'elettrodo usando la coltura a concentrazione minore erano prossime a quelle fatte registrare da un campione di solo terreno di coltura usato come riferimento. A questo punto non sono state effettuate ulteriori diluizioni, considerando la densità di 175.000 cell ml⁻¹ corrispondente al limite di sensibilità del sensore. Per concludere possiamo osservare che, confrontando le diverse curve luce-fotosintesi, normalizzate per la densità, i valori più alti di produzione sono stati raggiunti dalla coltura con una concentrazione di 295.000 cell ml⁻¹ (Fig. 8). A concentrazioni algali superiori è possibile che intervengano alcuni fenomeni, legati alla elevata densità della popolazione, che influenzano negativamente la produzione algale (per esempio il *self-shading*).

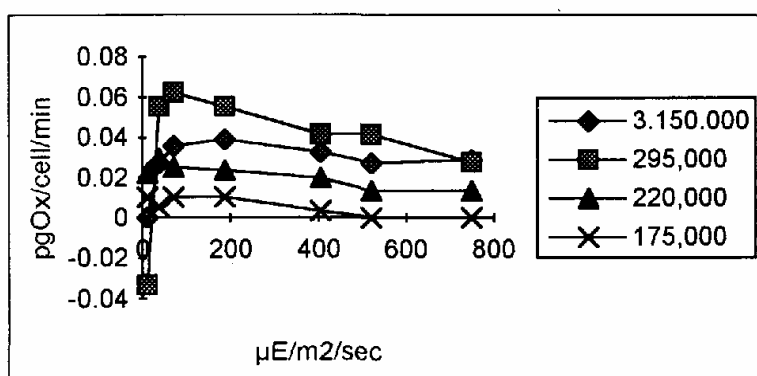


Fig. 8 - Produzione di ossigeno per cellula a diverse concentrazioni algali.

5. CONCLUSIONI

Il sensore utilizzato si è rivelato un valido strumento per la misura della produzione primaria, poiché unisce la facilità d'uso e la rapidità della misura ad una sensibilità sufficientemente elevata da permettere di misurare in tempo reale l'attività fotosintetica di popolazioni algali in differente stato fisiologico. Se, dunque, questo strumento si dimostra estremamente efficace per condurre esperimenti in laboratorio, tuttavia la necessità di utilizzare campioni algali molto concentrati limita fortemente il suo utilizzo qualora si voglia misurare la produzione di campioni provenienti da ambienti naturali. Gli esperimenti condotti hanno mostrato come al di sotto di circa 200.000 cell ml⁻¹ la sensibilità del sensore diventi troppo bassa per poter distinguere chiaramente se le differenze di potenziale osservate siano dovute a fenomeni di fotosintesi o a fenomeni di tipo non biologico.

In natura densità dell'ordine di quella indicata si raggiungono solo in ambienti eutrofi in occasione di fioriture algali: si vedano, ad esempio, i dati relativi ad una campagna condotta nel 1988 sul Lago di Lugano, in cui la densità algale raggiunse le 625.000 cell ml⁻¹ durante una fioritura di *Oscillatoria redeckeii* (Lami et al., 1992).

Dubinsky et al. (1987), avendo messo a punto un sistema molto simile a quello da noi utilizzato, affermano che l'elettrodo da essi impiegato è sensibile a piccole variazioni della concentrazione di ossigeno disciolto per campioni con una concentrazione di clorofilla variabile da 50 a 300 $\mu\text{g l}^{-1}$: secondo gli stessi autori tali limiti di concentrazione permettono in molti casi di condurre esperimenti con campioni provenienti da ambienti naturali. Tuttavia misurare in ambienti naturali delle concentrazioni simili è poco frequente: ad esempio, sempre nel Lago di Lugano, durante la campagna citata in precedenza, fu misurata una concentrazione media annua di 25 $\mu\text{g l}^{-1}$, con un massimo di 75 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Lami et al., 1992). Questo conferma il fatto che solo in certi ambienti ed in particolari momenti dell'anno sarebbe possibile misurare la produzione primaria con un elettrodo come quello descritto. Per poter estendere l'uso di questo sensore ad ambienti con un minore grado di trofia sarebbe indispensabile poter concentrare il campione, per esempio tramite filtrazione. Tuttavia per raggiungere una concentrazione sufficientemente alta sarebbe spesso necessario filtrare volumi d'acqua alquanto consistenti, sottoponendo le alghe ad uno *stress* notevole e rischiando inoltre di danneggiare le cellule, con effetti negativi sulle capacità produttive della popolazione. In ogni caso questa metodologia merita senz'altro ulteriori sperimentazioni, data le significative innovazioni che potrebbe introdurre nell'ambito dei metodi di misura della produzione primaria.

BIBLIOGRAFIA

- Delieu, T. & D.A. Walker. 1972. An improved cathode for the measurement of photosynthetic oxygen evolution by isolated chloroplasts. *New Phytol.*, 71: 201-225.
- Dubinsky, Z., P.O. Falkowsky, A.F. Post & U.M. van Hes. 1987. A system for measuring phytoplankton photosynthesis in a defined light field with an oxygen electrode. *J. Plankt. Res.*, 9 (4): 607-612.
- Lami, A., P. Guilizzoni, D. Ruggiu, B. Polli, M. Simona & A. Barbieri. 1992. Role of pigments on algal communities & photosynthesis. *Aquat. Sciences.*, 54 (3/4): 321-330.
- Truesdale, G.A. & A.L. Downing. 1954. Solubility of oxygen in water. *Nature*, 173: 1236.

OBSERVATIONS ON FEEDING BEHAVIOUR AND FOOD CHOICE IN THE HERBIVORE POLYCHAETE *PLATYNEREIS DUMERILII* (NEREIDIDAE)

Maria Cristina GAMBI and Maria Adele DI MEGLIO

Laboratorio di Ecologia del Benthos-Stazione Zoologica "A. Dohrn", 80077 Ischia
(Napoli, Italy)

RIASSUNTO

Il polichete erbivoro *Platynereis dumerilii*, rappresenta una delle specie più comuni ed abbondanti dei popolamenti macroalgali di fondo duro superficiale e dei sistemi a fanerogame marine del Mediterraneo. Scopo del presente lavoro, che è parte di un'indagine più ampia sull'ecologia trofica di questa specie e sul suo ruolo nell'ecosistema a *Posidonia oceanica*, è quello di studiarne il comportamento trofico e la scelta alimentare in rapporto al tipo di specie algali dove la specie si può più frequentemente rinvenire, ed al ciclo nictemerale.

Gli esemplari di *P. dumerilii* per gli esperimenti sono stati raccolti nei fondi duri superficiali dell'isola d'Ischia (Golfo di Napoli). Tutti gli esperimenti sono stati condotti in laboratorio su individui isolati, suddivisi in tre classi di taglia (piccoli: < 9 mm di lunghezza; intermedi: 9-15 mm; grandi: > 15 mm), mantenuti all'interno di capsule Petri in camera termostata a temperatura costante di 19 °C. Ogni esperimento, effettuato su animali tenuti alcuni giorni a digiuno, consisteva nella scelta tra due items algali posti ad uguale distanza dall'animale, che si trovava sempre all'interno del tubo mucoso costruito sul bordo della capsula Petri. A singoli esemplari di *P. dumerilii* sono state offerte diverse specie algali ed anche piccoli pezzi di *Posidonia* con differenti epifiti algali. La posizione degli animali nei diversi items offerti veniva controllata dopo 24 ore (di cui 12 di luce e 12 di oscurità); successivi esperimenti, per lo studio del ciclo nictemerale, sono stati effettuati offrendo la stessa coppia di items ad animali mantenuti per 12 ore in condizioni di sola luce e per 12 ore in oscurità. La ritmicità dell'attività alimentare è stata studiata rimuovendo e pesando (peso secco) le fecal pellets, prodotte da gruppi di vermi costituiti da 5 individui della stessa taglia, ad intervalli regolari (3, 6 e 12 ore) per tre giorni consecutivi.

Complessivamente sono stati condotti 30 esperimenti di scelta alimentare binaria. Nessuna differenza è stata rilevata nel tipo di scelta in rapporto alla taglia degli animali. In generale, pezzetti di *Posidonia* con epifiti eretti (caratterizzati soprattutto da *Sphacelaria cirrhosa*), erano significativamente preferiti agli altri items algali offerti, ad eccezione delle alghe brune *Cystoseira crinita* e *Dictyota dichotoma*, e dell'alga verde *Ulva rigida*. Pezzetti di *Posidonia* senza epifiti o con corallinacee incrostanti (soprattutto *Fosliella* spp.) erano raramente scelti, e preferiti solo quando items più coriacei venivano offerti (es., *Caulerpa prolifera*). Alcuni esemplari di *P. dumerilii* di lunghezza superiore

a 15 mm, hanno mostrato la capacità di tagliare con le mascelle i tessuti fogliari di *Posidonia*, anche se piccoli frammenti di *Posidonia* sono stati spesso osservati nelle fecal pellets anche di individui più piccoli. L'analisi dell'attività alimentare in rapporto al ciclo nictemerale, ha mostrato una evidente tendenza degli animali a rimanere più frequentemente all'interno del tubo durante gli esperimenti in condizione di illuminazione, e indipendentemente dalla taglia degli individui. Inoltre in condizioni di luce diminuiva quasi del tutto il comportamento di *gardening*, relativamente frequente invece negli esperimenti al buio. Per quanto riguarda la ritmicità dell'attività alimentare, la produzione di fecal pellets è sembrata piuttosto continua e costante durante il periodo di osservazione ed in relazione probabilmente alla continua disponibilità di cibo.

In conclusione, *P. dumerilii* sembra preferire items vegetali che offrono un buon compromesso tra coriaceità dei tessuti, palatabilità e complessità strutturale (architettura), in rapporto alle capacità sia meccaniche sia criptiche della specie. Inoltre, *P. dumerilii* si è rivelata come Tunica specie di polichete attualmente conosciuta in grado di intaccare tessuti fogliari vivi di *Posidonia*. Infine, la ridotta attività alimentare dei vermi osservata in condizioni di illuminazione, può essere considerata come un evidente comportamento "anti-predatorio".

1. INTRODUCTION

The small herbivores that live in the same seaweeds on which they feed have been defined as "mesoherbivores" or mesograzers (Hay et al., 1988; Brawley, 1992). Therefore, for mesoherbivores, habitat and feeding selection often coincide, and represent a compromise between the structural complexity of the algae (algal architecture), in relation to their size and cryptic capability, and the algal toughness and palatability, in relation to their morpho-functional features and energy requirements (Brawley, 1992). Mesoherbivores, which are very abundant in seaweed populations of hard bottoms (Hawkins et al., 1992) and in the leaf stratum of marine phanerogams (Gambi et al., 1992), have great importance in the food web of these systems, but their role in the energy transfer to higher consumers has been often underestimated or neglected (Mazzella et al., 1992). On the other hand, the macroalgae were classified into various morpho-functional guilds in relation also to their availability as food for the potential grazers (Littler & Littler, 1980).

Platynereis dumerilii (Polychaeta, Nereididae) represents a typical mesograzer worm associated to the seaweeds of the shallow hard bottoms, mainly brown algae (Bedford & Moore, 1985; Giangrande, 1988). This species is also common in the seagrass meadows of the Mediterranean Sea, such as *Posidonia*, *Zostera* and *Cymodocea* (Gambi & Lanera, 1992; Lanera & Gambi, 1993). Some aspects of the trophic behaviour and ecology of *P. dumerilii* were already studied under laboratory conditions (Cram & Evans, 1980; Bedford & Moore, 1985; Evans & Downie, 1986). *P. dumerilii* lives inside semi-permanent, mucous tubes, that are often attached to the macroalgal thalli (Bedford & Moore, 1985). Like other co-generic species, *P. dumerilii* feed generally close to the tube entrance, where very often the worms attach small pieces of algae (Casanova & Coulon-Roso, 1967; Cram & Evans, 1980). This typical

behaviour, known as *algal gardening* (Casanova & Coulon-Roso, 1967), is frequent in various polychaete Nereididae (Woodin, 1977) and also in some molluscs and fishes, and has interesting ecological implications (Branch et al, 1992).

This research represents a first approach to the study of the role of *P. dumerilii* in the food web of the seagrass and seaweed systems of the Mediterranean, analyzing in particular, the trophic behaviour and the food choice of this species under laboratory conditions, in relation to the most common algal forms where the species can live, and to the nyctemeral cycle.

2. MATERIALS AND METHODS

Specimens of *P. dumerilii* were collected at a site named Castello Aragonese, located in the island of Ischia (Gulf of Naples), along a shallow rocky cliff (0-3 m depth), characterized mainly by the brown algae *Cystoseira crinita* and *Halopteris scoparia*. The collected animals were grouped into three size classes based on worm length: small, <9 mm; intermediate, 9-15 mm; and large, >15 mm. The specimens were reared in a closed system (inside Petri dishes) and kept thermostatted at a constant temperature of 19 °C. In order to avoid intraspecific aggressive behaviour, very common in polychaete Nereididae, and documented also for this species (Reish & Alosi, 1968), all the experiments were performed on individual animals. Prior to each experiment, animals were starved for at least one day; during this time each worm was able to built its mucous tube inside the Petri dish, and before the beginning of each food choice experiment, the worms were always inside their newly built tubes. Various species of macroalgae and *Posidonia* leaves with different plant epiphytic covering, were collected at the same site where worms were sampled (Castello Aragonese). The erect epiphytes of *Posidonia* leaves were dominated by the brown alga *Sphacelaria cirrhosa*, while the encrusting epiphytes were mainly characterized by corallineous algae of the genera *Fosliella* and *Pneophyllum*. In each food choice experiment, pieces of about 1 cm length from two different fresh plant items were offered to individual specimens of *P. dumerilii*; for small worms (< 9 mm), smaller pieces of the same items (about 0.5 cm length) were utilized. The plant items were placed at equal distance from each worm, that was always inside its mucous tube.

A first set of experiments was performed for 24 hours, with a photoperiod of 12 hours of light and 12 of dark. A second set of experiments, performed in order to study the influence of the nyctemeral cycle on the feeding activity, lasted only for 12 hours; the same binary choice was tested under 12 hours of light and 12 hours of dark conditions. In the 24 hours experiments, the animals were checked at 2, 4, 6, 12 and 24 hours time intervals, by noting their position inside the offered plant items; the occurrence of the *gardening* behaviour, that generally consists in the presence of the worm in one of the item and in the attachment of the other item at the tube entrance, was also checked. The 24 hours set of experiments allowed to establish in between 6 and 12 hours the time necessary to complete the food choice for at least 95% of the specimens. In the subsequent experiments aimed at the study of the nyctemeral cycle, the animals were checked only at the end of each experiment (12 hours). The results of all the binary food choice experiments performed were tested by means of the sequential analysis (Lison,

1961). The rhythmicity in the feeding activity was investigated by offering to the animals small pieces of *Posidonia* leaves with overgrown erect epiphytes, and by removing the fecal pellets at time intervals of 3, 6 and 12 hours for three consecutive days. The fecal pellets produced by individual worms were cumulated from groups composed of 5 individuals of the same size each (4 groups of intermediate and 4 of large specimens). Fecal pellets of each group were washed in distilled water to remove salt, dried in oven (48 hours at 70 °C) and weighed.

3. RESULTS

As a whole 30 experiments of food choices were performed, 14 of which lasted 24 hours, while 16 lasted 12 hours under light or dark conditions.

The plant epiphytes of *Posidonia* leaves and the macroalgae tested during the experiments, belonged to 5 different morpho-functional guilds, which are indicated in brackets in Table 1B. The results of the statistical test of each food choice experiment, are reported in Table 1A ($p = 0.90$; 24 hours) and Table 1B (12 hours, light or dark conditions).

In all the performed experiments, no significant differences were detected in the food choice as related to the size of the worms. In general, *Posidonia* with erect epiphytes were significantly preferred on *Posidonia* with encrusting epiphytes (Fig. 1A) or without epiphytes (Tab. 1 A). In the food choice experiments between *Posidonia* with erect epiphytes and the macroalgae, one can note that the erect epiphytes were preferred only over *Halopteris scoparia*, and not over *Dictyota* (Fig. 1B), *Cystoseira* (Fig. 2A) and *Ulva*. *Posidonia* leaves without epiphytes, or with coralline encrusting algae, were rarely selected, and preferred only when less attractive items were offered, such as *Caulerpa prolifera*. The comparison between the various macroalgae showed that *Ulva* and *Dictyota* were generally preferred to *Cystoseira* (Fig. 2B and 3), even though the differences were not significant (Tab. 1B). Quite anomalous was the result of the food choice between *Cystoseira* and *Caulerpa*, that showed a similar preference.

A very interesting phenomenon, observed sometimes when *Posidonia* leaves with encrusting epiphytes or without epiphytes were offered, was that relatively large portions of living *Posidonia* leaf tissues were removed, especially along the cut edges of the leaf. This behaviour was observed in some individuals of *P. dumerilii* longer than 10 mm. The grazed leaves showed very clearly the worm's bite marks that in Nereididae have a typical "half-moon" shape. These bite marks were observed also on the thalli of *Dictyota*, *Ulva* and *Cystoseira*. Besides, one observes that the grazing activity, both on the *Posidonia* leaves and on the macroalgal thalli, occurred mainly in areas surrounding the part that was attacked first by the worms. Finally, small fragments of both macroalgae and *Posidonia* leaves were frequently observed in the fecal pellets of worms of various sizes.

The comparison between the experiments under light and dark conditions, revealed a clear tendency of the animals to remain more frequently inside their tubes (in the initial condition of the experiment) in light conditions, and regardless of their size (Fig. 1, 2 and 3). Besides, under light conditions, the *gardening* behaviour was almost absent. The *gardening* occurred with relatively low frequencies (about 5-6%) mainly in

the experiments under dark conditions, and was more common in large (> 15 mm) and intermediate (15-9 mm) specimens, respect to the small ones (< 9 mm). In these latter specimens *gardening* was rarely observed in the 24 hours experiments, and never occurred in the light-dark experiments.

Tab. 1A - Sequential analysis, binary food choice 24 hours.

tested items		
Posidonia erect epiph. (1)	Posidonia encrusting epiph (2)	n.s.
Posidonia erect epiph.	Posidonia no epiph.	s.
Posidonia encrusting epiph.	Posidonia no epiph.	n.s.
Posidonia erect epiph.	Halopteris scoparia (1)	s.
Posidonia erect epiph.	Ulva rigida (3)	n.s.
Posidonia erect epiph.	Dictyota dichotoma (1)	n.s.
Posidonia erect epiph.	Cystoseira crinita (1)	n.s.
Posidonia no epiph.	Udotea petiolata (4)	n.s.
Posidonia no epiph.	Caulerpa prolifera (4)	s.
Cystoseira crinita	Halopteris scoparia (1)	n.s.
Cystoseira crinita	Caulerpa prolifera	n.s.
Dictyota dichotoma	Cystoseira crinita	s.
Ulva rigida	Cystoseira crinita	s.
Ulva rigida	Dictyota dichotoma	n.s.

Tab. 1B - Sequential analysis, binary food choice 12 hours.

tested items		Dark	Light
Posidonia erect epiph.	Posidonia encrusting epiph.	s.	s.
Posidonia erect epiph.	Dictyota dichotoma	n.s.	n.s.
Posidonia erect epiph.	Halopteris scoparia	n.s.	n.s.
Posidonia erect epiph.	Cystoseira crinita	n.s.	n.s.
Ulva rigida	Dictyota dichotoma	n.s.	s.
Dictyota dichotoma	Cystoseira crinita	s.	n.s.
Ulva rigida	Cystoseira crinita	s.	s.
Corallina elongata (5)	Posidonia encrusting epiph.	s.	n.s.

s.= significant p= 0.90

n.s.= not significant p= 0.90

algal morpho-functional groups

(1)= corticated; (2)= calcareous encrusting

(3)= foliose; (4)= leathery

(5)= calcareous articulated

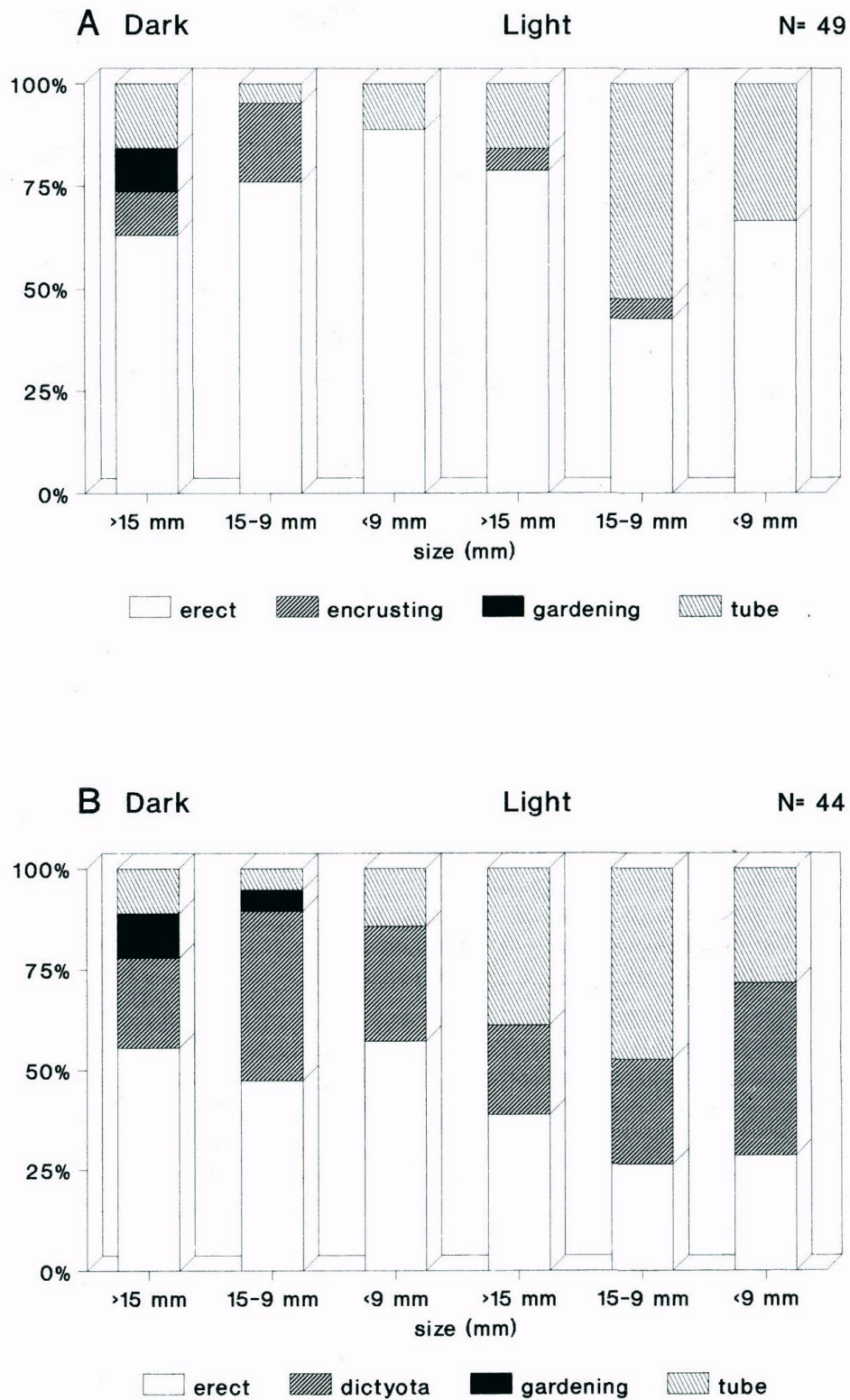


Fig. 1 - Results of the food choice experiment of *P. dumerilii* between erect and encrusting *Posidonia* epiphytes (A), and between erect epiphytes and *Dictyota* (B).

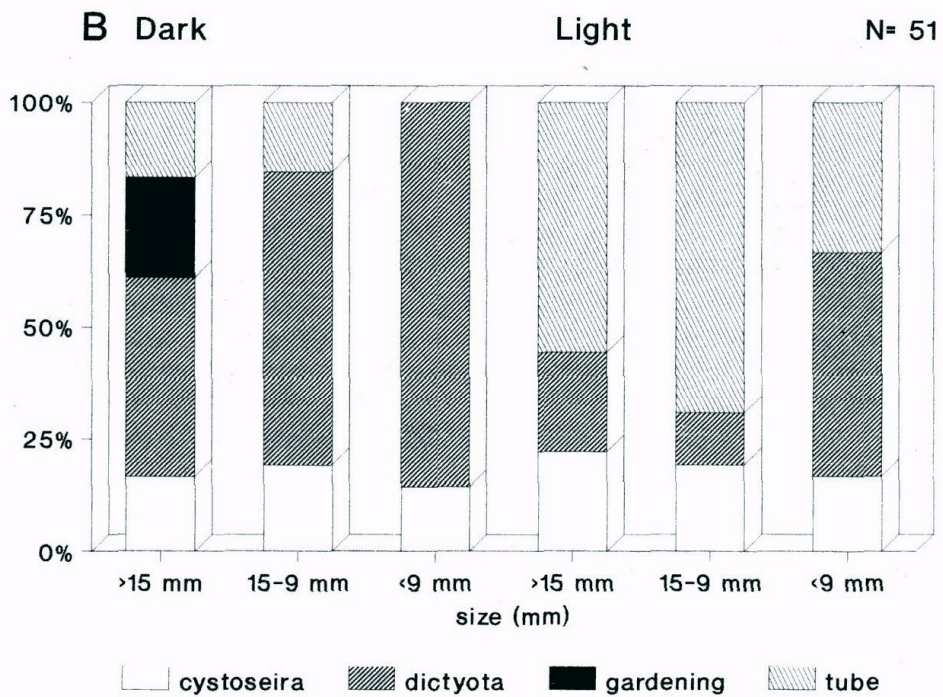
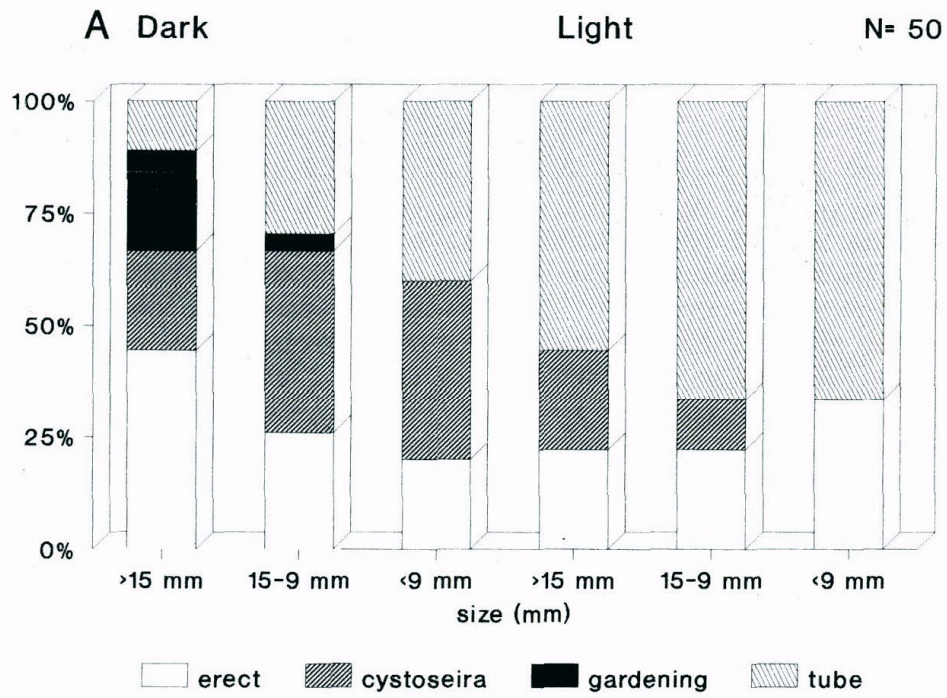


Fig. 2 - Results of the food choice experiment of *P. dumerilii* between *Posidonia erect* epiphytes and *Cystoseira* (A), and between *Cystoseira* and *Dictyota* (B).

Some differences, linked to the nyctemeral cycle, were observed also in the selection between the various tested items. The food choice between *Posidonia* with encrusting epiphytes and *Corallina elongata* revealed that under dark conditions the latter is clearly preferred over the former, while under light conditions the selection of the two items was almost the same (Tab. 1B). A quite similar result was observed between *Cystoseira* and *Dictyota* (Fig. 2B) and between this latter and *Ulva* (Fig. 3).

As regards the rhythmicity in the feeding activity, means and standard deviations of fecal pellet production (mg/group of dry weight), are reported in Table 2. As a whole, even though the data were relatively variable, fecal pellet production, and therefore food consumption, seemed quite constant during the period of observation, without any clear rhythmicity. Fecal pellet production was, as expected, proportional to worm size: intermediate specimens produced a mean of 0.139 mg/group (s.d.= 0.054) and large individuals a mean of 0.222 mg/group (s.d.= 0.067) of fecal pellets about every three hours.

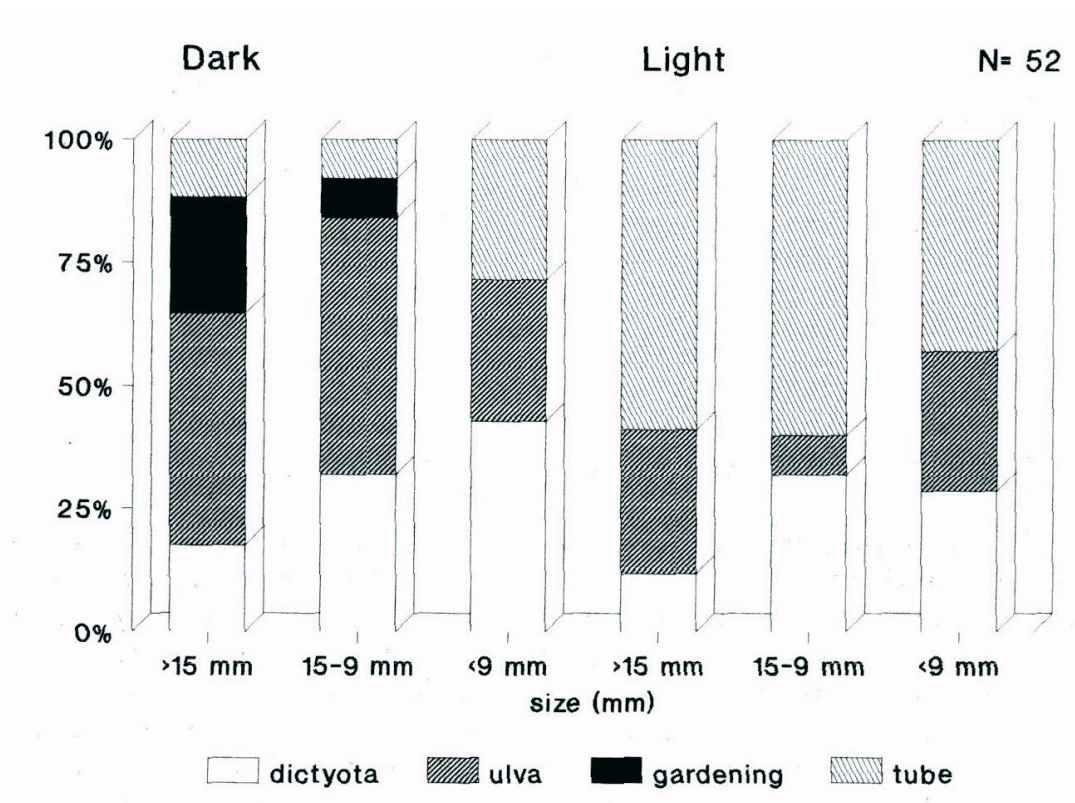


Fig. 3 - Results of the food choice experiment of *P. dumerilii* between *Dictyota* and *Ulva*.

Tab. 2 - Fecal pellet production (dry weight, mg/group).

Time (hours)	Intermediate		Large	
	mean	s.d.	mean	s.d.
15+	0.306	0.127	0.665	0.295
3 (L)	0.163	0.041	0.237	0.069
6 (L)	0.115	0.052	0.198	0.021
9 (L)	0.187	0.063	0.206	0.039
12 (D)	0.187	0.078	0.249	0.096
15 (D)	0.119	0.049	0.171	0.073
21 (D)	0.175	0.045	0.366	0.124
24 (L)	0.083	0.037	0.185	0.042
27 (L)	0.103	0.033	0.186	0.087
30 (L)	0.116	0.027	0.294	0.071
33 (L)	0.179	0.113	0.256	0.112
48 (D)	0.603	0.123	1.097	0.324
57 (L)	0.268	0.056	0.484	0.184
72 (D)	0.775	0.197	1.212	0.308

(D)= Dark; (L)= Light. Values are mean of 4 groups.
Each group is composed by 5 specimens

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Present observations on feeding behaviour and food choice of *P. dumerilii*, confirm the typical mesograzer habitus of this species. The erect *Posidonia* epiphytes, which were dominated in our experiments by brown branched algae of the genus *Sphacelaria*, have a relatively high structural complexity (architecture), are more palatable than the encrusting corallinaceous algae or the *Posidonia* leaf tissues, therefore, represent a more suitable and accessible food for the mechanical capability of *P. dumerilii*. The role of mature plant epiphytic community of the *Posidonia* leaves, which is dominated by erect forms, is known also in the feeding ecology of others mesoherbivores, such as molluscs and crustacean amphipods (Mazzella & Russo, 1989; Scipione & Mazzella, 1992). This epiphytic assemblage, where often specimens of *P. dumerilii* were observed *in situ* (Gambi, pers. observ.), represents a favorable habitat for this species also respect to its cryptic requirement.

Between the macroalgae, forms with foliose and soft thalli, such as *Viva rigida*, offer a higher palatability, and are therefore preferred over both *Posidonia* epiphytes and corticated algal forms (e.g., *Dictyota*, *Cystoseira*, *Halopteris*). Feeding of *P. dumerilii*

on *Ulva* has been observed under laboratory conditions also by Cram & Evans (1980) and documented *in situ* for other species of Nereididae (Woodin, 1977).

Finally, the less suitable food were the leathery algae *Udotea* and *Caulerpa*, due to not only to the toughness of their thalli, but probably also to the presence, as documented in *Caulerpa*, of chemicals that can inhibit grazing (Hay & Fenical, 1992).

It is worthwhile to stress once again the capability of larger specimens of *P. dumerilii* (> 10 mm length), to feed on the living *Posidonia* leaf tissues, even though this behaviour occurred only when the animals were forced to graze upon less attractive plant items, (such as the corallinaceous algae of the genus *Fosliella* or *Caulerpa prolifera*). This peculiar behaviour is consistent with the fact that in the North Atlantic (U.S.A.) Jacob & Pierson (1979) recorded several specimens of *P. dumerilii* living inside the flower spathes of the seagrass *Zostera marina*, and observed also several bite marks on them. Therefore, *P. dumerilii* represents the only polychaete up to date documented, that is able to remove the seagrass leaf tissues; in particular the *Posidonia* leaves that are particularly tough, due to their high content of structural carbohydrates, and are rarely consumed by direct grazers (Mazzella et al., 1992). The typical half-moon shape of the bite marks of *P. dumerilii* has been observed also by Bedford & Moore (1985) on the thalli of the brown alga of the genus *Laminaria*. These Authors indicate that the animals prefer fresh thalli respect to the dead tissues and detritus and that the feeding activity is concentrated on a few areas of the thalli, as observed by us. This behaviour has been related to the fact that in the zones first attacked by the worms, bacterial activity and decomposition processes are enhanced, and the nutritional and energetic value of the thallus is probably higher (Bedford & Moore, 1985).

The *gardening* behaviour in *P. dumerilii* seemed to occur with many different algal forms and also with epiphytized *Posidonia* leaves. This behaviour seemed also correlated to the size of the animals, being more frequent in intermediate-large specimens (> 10 mm). Probably small individuals (< 9 mm) were not able to handle, move and attach to their tube the offered algal pieces, even though these latter were smaller than those offered to intermediate and large specimens (see Methods above).

In the light-dark experiments, the most interesting result is that under light conditions individuals are less active, remain generally inside their tubes and also the *gardening* is very reduced. To this respect, *P. dumerilii*, and in general many tubicolous Nereididae, show a relatively complex behaviour inside their tubes. This consists in long periods of resting and inactivity, in which only irrigation undulatory movement are performed, followed by more complex movements and finally by the feeding activity (Cram & Evans, 1980; Evans & Downie, 1986). The feeding is generally performed by the partial or total exit of the worm from the tube and by the search for food in the areas neighbouring to the tube itself (Cram & Evans, 1980). During the search for food, the animals are more exposed to potential predators. The *gardening* behaviour, where food is directly attached to the tubes, has been considered as an adaptation to reduce the risks of predation (Woodin, 1977). Therefore, the prolonged permanence of *P. dumerilii* inside the tubes, and the reduction of the *gardening* can be explained as an anti-predatory behaviour, as also hypothesized for other species of Nereididae (Roe, 1975). Moreover, in our experiments this reduced activity seem clearly related with the presence of light stimuli.

In the shallow seaweeds systems and seagrass meadows, where *P. dumerilii* is one of the most abundant polychaete, the predation pressure can be high (Mazzella et al., 1992), and can be stronger during daytime. In *Posidonia* beds, as an example, one can observe higher abundances of many groups of crustaceans during nighttime (Cozzolino et al., 1992). This nyctemeral migration phenomenon is probably related to the reduced predation during night.

Finally, the lacking of any kind of feeding rhythmicity, studied by means of fecal pellet production, suggests that at least for short periods (3 days), suitable and unlimited fresh food supply, induces a continue feeding activity, that seems also relatively constant.

These first data on the feeding behaviour of *P. dumerilii* stress the complex trophic ecology of this species and its role as grazer on the epiphytic community of shallow *Posidonia* beds and seaweed systems. Moreover, the preliminary observation on algal *gardening* requires further investigations to better understand the biological implications and the ecological role of this peculiar behaviour, still relatively poorly studied in this species and related taxa.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Maria Cristina Buia for classification of the plant epiphytes of *Posidonia* leaves and for morpho-functional definition of the algal items used for food choice experiments. Thanks are also due to Valeric Zupo and Maurizio Lorenti for critical reading of the manuscript.

REFERENCES

- Bedford, A.P. & P.G. Moore. 1985. Macrofaunal involvement in the sublittoral decay of kelp debris: the Polychaete *Platynereis dumerilii* (Audouin & Milne-Edwards) (Annelida: Polychaeta). *Estuarine Coastal Shelf Science*, 20 (2): 117-134.
- Branch, G.M., J.M. Harris, R.H. Parkins, R.H. Bustamante & S. Eekhout. 1992. Algal 'gardening' by grazers: a comparison of ecological effects of territorial fish and limpets. In: Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos (D.M. John, S.J. Hawkins & J.H. Price Eds.). *Systematics Association Special Volume*, 46: 405-423.
- Brawley, S.H. 1992. Mesoherbivory. In: Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos, (D.M. John, S.J. Hawkins & J.H. Price Eds.). *Systematics Association Special Volume*, 46: 235-263.
- Casanova, G. & J. Coulon-Roso. 1967. Sur le comportement alimentaire de *Platynereis massiliensis* (Moquin-Tandon). *Compte rendu Hebdomadaire des Seances de l'Académie des Sciences*, 264 serie D: 2152-2153.
- Cozzolino, G.C., M.B. Scipione, M. Lorenti & V. Zupo. 1992. Migrazioni nictemerali e struttura del popolamento a crostacei Peracaridi e Decapodi in una prateria a *Posidonia oceanica* dell'Isola d'Ischia (Golfo di Napoli). *Oebalia*, suppl. 17: 343-346.

- Cram, A. & S.M. Evans. 1980. Stability and lability in the evolution of behaviour in Nereid Polychaetes. *Animal Behaviour*, 28: 483-490.
- Evans, S.M. & P.J. Downie. 1986. Decision-making processes in the polychaete *Platynereis dumerilii*. *Animal Behaviour*, 34: 472-479.
- Gambi, M.C. & P. Lanera. 1992. Polychaetes of the leaf stratum of a *Posidonia oceanica* bed: spatial and seasonal analyses. *Rapp. Comm. int. Mer Medit.*, 33: 39.
- Gambi, M.C., M. Lorenti, G.F. Russo, M.B. Scipione & V. Zupo. 1992. Depth and seasonal distribution of some groups of the vagile fauna of the *Posidonia oceanica* leaf stratum: structural and trophic analyses. *P.S.Z.N.I. Marine Ecology*, 13 (1): 17-39.
- Giangrande, A., 1988. Polychaete zonation and its relation to algal distribution down a vertical cliff in the western Mediterranean (Italy): a structural analysis. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, 120:263-276.
- Hawkins, S.J., R.G. Hartnoll, J.M. Kain & T.A. Norton. 1992. Plant-animal interactions on hard substrata in the north-east Atlantic. In: Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos, (D.M. John, S.J. Hawkins S.J. & J.H. Price Eds.). *Systematics Association Special Volume*, 46: 1-34.
- Hay, M.E. & W. Fenical. 1992. Chemical mediation of seaweed-herbivore interactions. In: Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos, (D.M. John, S.J. Hawkins & J.H. Price Eds.). *Systematics Association Special Volume*, 46: 319-338.
- Hay, M.E., P.E. Renaud & W. Fenical. 1988. Large mobile versus small sedentary herbivores and their resistance to seaweed chemical defenses. *Oecologia*, 75: 246-252.
- Jacob, R.P.W.M. & E.S. Pierson, 1979. *Zostera marina* spathes as a habitat for *Platynereis dumerilii* (Audouin & Milne-Edwards, 1834). *Aquatic Botany*, 6: 403-406.
- Lanera, P. & M.C. Gambi. 1993. Polychaete populations of some *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers meadows around the Island of Ischia (Gulf of Napels, Italy). *Oebalia*, 19: 89-103.
- Lison, L. 1961. *Statistica applicata alla Biologia Sperimentale*. Casa Editrice Ambrosiana: 381 pp.
- Littler, M.M. & D.S. Littler. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *American Naturalist*, 116: 25-44.
- Mazzella, L., M.C. Buia, M.C. Gambi, M. Lorenti, G.F. Russo, M.B. Scipione & V. Zupo. 1992. Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea: a review. In Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos, (D.M. John, S.J. Hawkins & J.H. Price Eds.). *Systematics Association Special Volume*, 46: 165-187.
- Mazzella, L. & G.F. Russo. 1989. Grazing effects of two *Gibbula* species (Mollusca, Archaeogastropoda) on the epiphytic community of *Posidonia oceanica* leaves. *Aquatic Botany*, 35: 357-373.
- Reish, D.J. & M.C. Alosi. 1968. Aggressive behavior in the Polychaetous Annelid family Nereidae. *Bull. So. Calif. Acad. Sc.*, 67 (1): 21-28.

- Roe, P. 1975. Aspects of life history and territorial behavior in young individuals of *Platynereis bicanaliculata* and *Nereis vexillosa* (Annelida, Polychaeta). *Pacific Science*, 29(4): 341 -348.
- Scipione, M.B. & L. Mazzella. 1992. Epiphytic diatoms in the diet of crustacean Amphipods of *Posidonia oceanica* leaf stratum. *Oebalia*, suppl. 17: 409-412.
- Woodin, S.A. 1977. Algal "gardening" behavior by Nereid Polychaetes: effects on soft-bottom community structure. *Marine Biology*, 44: 39-42.

PRINCIPALI LINEAMENTI STRUTTURALI ED EVOLUZIONE DEL MAR LIGURE (MEDITERRANEO OCCIDENTALE)

Francesco FANUCCI e Danilo MORELLI

Istituto di Geodinamica e Sedimentologia, Via M. Oddi 1, Urbino

RIASSUNTO

Vengono esposti i risultati di recenti ricerche sull'assetto strutturale del Mar Ligure in rapporto al meccanismo di apertura del Bacino e alla sua evoluzione post-apertura. Si mette in evidenza che:

- il settore orientale fa parte strutturalmente e geneticamente del sistema tirrenico, di cui rappresenta la propaggine più settentrionale, orientata secondo eredità tettoniche di fasi deformative mioceniche;
- le principali linee tettoniche del settore occidentale, benché tuttora attive, ereditano situazioni strutturali della fase d'apertura;
- quest'ultima è dipesa soprattutto dalla tettonica trascorrente lungo faglie orientate come la Faglia Nord-Pirenaica, che hanno dato luogo a bacini tipo pull-apart a sviluppo diversificato. Detta fase è iniziata alla fine dell'Oligocene e si è protratta per gran parte del Burdigallano;
- l'evoluzione post apertura è stata determinata da fasi disgiuntive a cui si intercala una fase compressiva nel Miocene medio;
- nel Plio-Pleistocene distensione e compressione sono coesistite nei diversi settori del bacino.

ABSTRACT

Main structural lines and evolution of Ligurian Sea - The main results from recent structural analyses of the Ligurian Sea, in the framework of the opening geodynamic process and post-opening evolution, are presented.

The study evidences that:

- the eastern sector of Ligurian Sea coincides with the extreme northern part of the tyrrhenian system of basins;
- the main structural lines of the western sector, still in activity, represent an heritage of the opening tectonic phase;
- this phase was characterized by the activity of some important strike-slip faults, parallel to the North Pyrenean Fault, which originated different pull-apart basins, since Late Oligocene up to Upper Burdigallan;
- the post-opening evolution was mainly characterized by extensional tectonics. During the Middle Miocene the area have been affected by a short, but important compressive phase;
- in the Plio-Pleistocene extension and compression interested simultaneously different parts of the area.

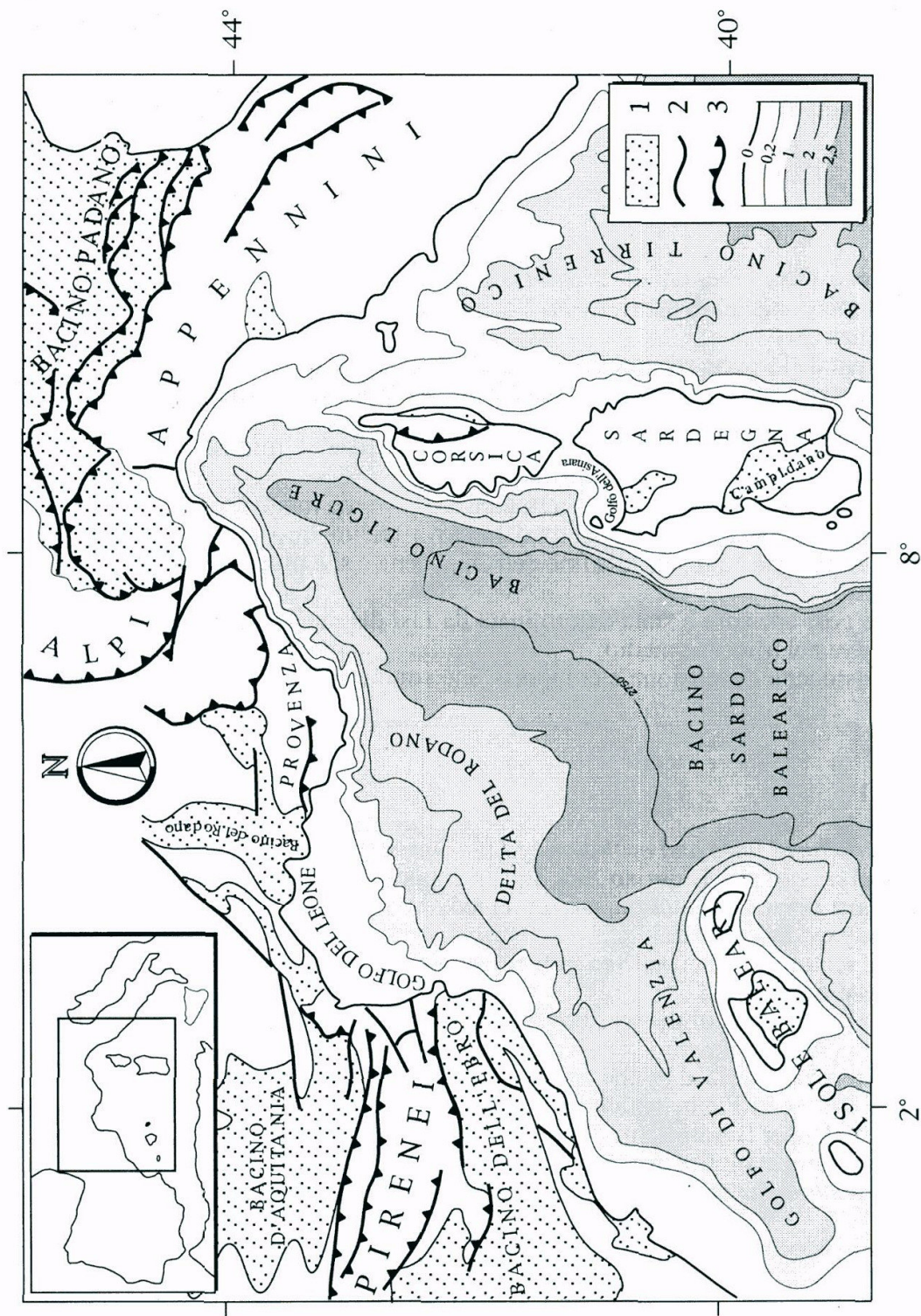


Fig. 1 - Inquadramento morfologico-tettonico del Mar Ligure nel contesto regionale: 1) bacini emersi; 2) linee tettoniche; 3) fronti di accavallamento. Profondità in km.

1. PREMESSE

L'espressione "Mar Ligure" è comunemente usata per indicare, in senso geografico, quella parte del Mediterraneo Occidentale che si insinua tra la Corsica e le catene delle Alpi Marittime e dell'Appennino settentrionale. Delimitato a SE dalla soglia Corsica-Capraia, il Mar ligure si confonde verso SW con gli altri settori del Bacino (Fig. 1).

Sotto il profilo geologico le distinzioni si fanno più precise: il Mediterraneo nord-occidentale viene definito come quell'area che si situa a N della soglia tettonica Sardo-Balearica, zona di massimo ravvicinamento dei margini continentali opposti, con tre propaggini principali:

- il Golfo del Leone, vasta area di margine continentale interessata dai maggiori accumuli sedimentari;
- il Golfo di Valenza e il Bacino Ligure-Provenzale, importanti depressioni tettoniche di forma allungata, la seconda decisamente più marcata ed estesa della prima è caratterizzata da una complessa evoluzione geodinamica (Fig. 2).

Da quando si sono resi disponibili i primi dati sulla esistenza di una crosta di tipo oceanico in Mediterraneo occidentale e sulla rototraslazione della Sardegna, diverse scuole di geofisica e geodinamica si sono interessate alle problematiche relative alla struttura, genesi ed evoluzione di tale Bacino, con ottiche e risultati diversi (Fig. 3). Tra ciò che accomuna quasi tutti i modelli vi è il fatto che il Mar Ligure non viene praticamente considerato o viene ritenuto una semplice appendice del Bacino Provenzale, senza mettere in conto le complicazioni e le condizioni al contorno che i suoi caratteri strutturali propongono ai modelli stessi.

In effetti, quando si consideri in dettaglio la geologia del Mar Ligure, emergono con immediata evidenza alcuni fatti non inquadrabili nei modelli suddetti (Figg. 4 e 5):

- la crosta oceanica ha un'importanza nettamente subordinata;
- il bacino si sovrappone alla catena alpina dividendola in due tronconi ad andamento molto diverse; se il segmento corso mantiene un assetto rettilineo e rapporti relativamente semplici tra le unità, il settore ligure-marittimo traccia un oroclineo molto accentuate, andando a sovrapporsi e a saldarsi alla catena appenninica;
- il bacino pare sovrapposto anche a quest'ultima catena, il che pone non pochi problemi circa la cronologia dell'apertura;
- la tetto-genesi dell'Appennino settentrionale non è giustificata (in termini di catena collisionale) dalla cinematica comunemente ammessa per il Blocco corso-sardo che comporta quasi esclusivamente traslazioni verso SE (Fig. 3);
- coste e margini hanno subito evoluzioni rapide e recenti che non hanno alcuna relazione con i fenomeni di apertura del Bacino.

Un'analisi più approfondita, basata sulle recenti acquisizioni geologico-geofisiche mostra che, in realtà:

- la parte di Mar Ligure sovrapposta alla catena appenninica e una propaggine strutturale del Tirreno settentrionale, di cui condivide assetto, modalità e cronologia di origine ed evoluzione;
- in tutto il Mediterraneo nord-occidentale è riconoscibile una fase di rifting attenuato, attiva sui margini orientali nel Plio-Pleistocene, che ha avuto effetti non trascurabili sull'assetto crostale e sulla neotettonica (Fig. 2).

Facendo astrazione dagli effetti del rifting tirrenico e di quello plio-pleistocenico, si può allora riconsiderare il problema dell'apertura, ricondotto alle reali condizioni.

Tra queste spicca il fatto che il Blocco corso aveva un'estensione ben più ampia dell'attuale tanto verso N che verso NW (Fig. 4) e che esistono lineamenti strutturali

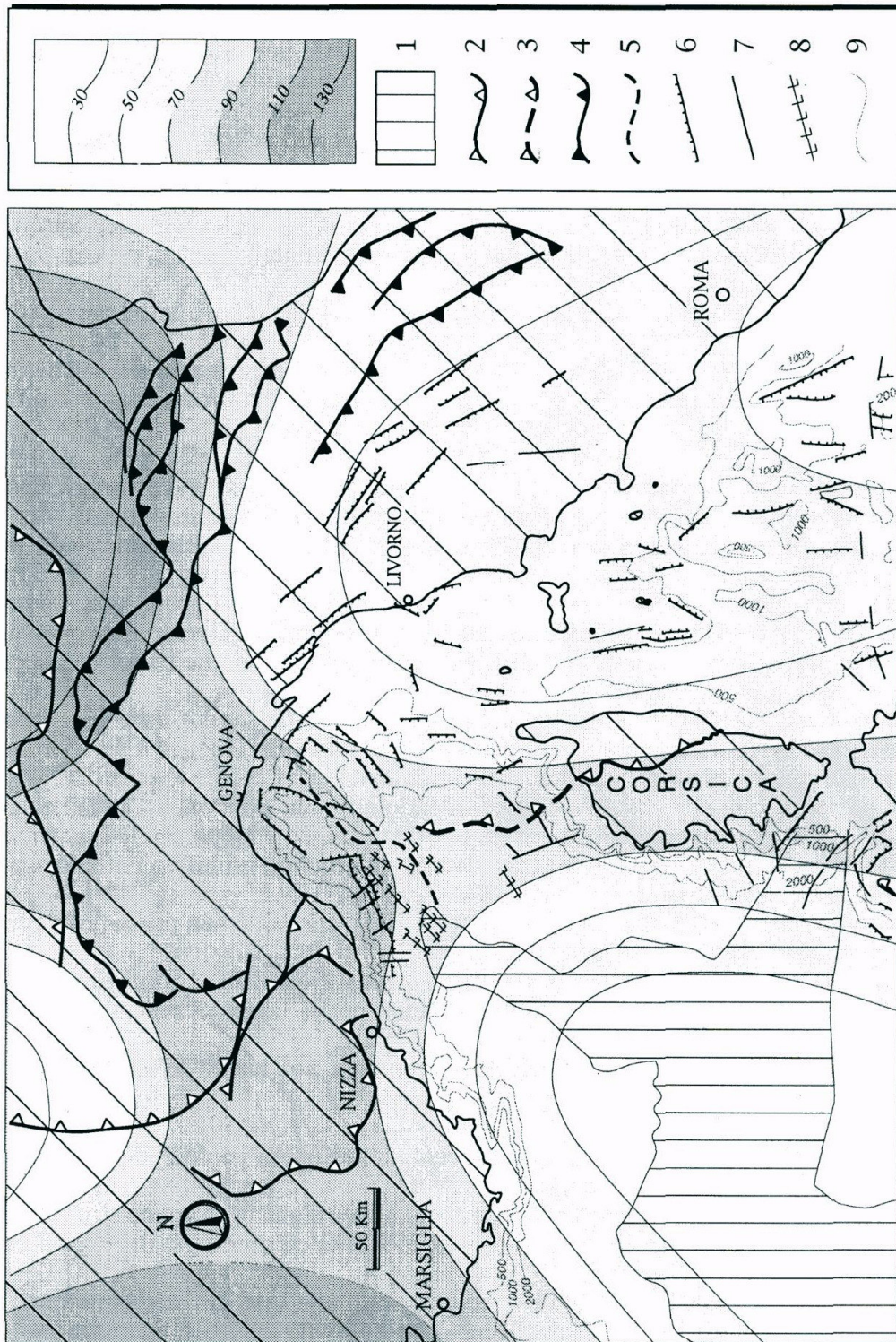


Fig. 2 - Spessore della litosfera e dettagli strutturali dell'area in esame (da PANZA et al., 1980, modificato): 1) crosta oceanica; 2 e 3) fronti strutturali alpini e loro prolungamento in Mar Ligure; 4) fronti appenninici; 5) limite settentrionale del Blocco corso; 6) faglie lirate; 7) faglie; 8) "muri di sale"; 9) isobate. Spessori in km.

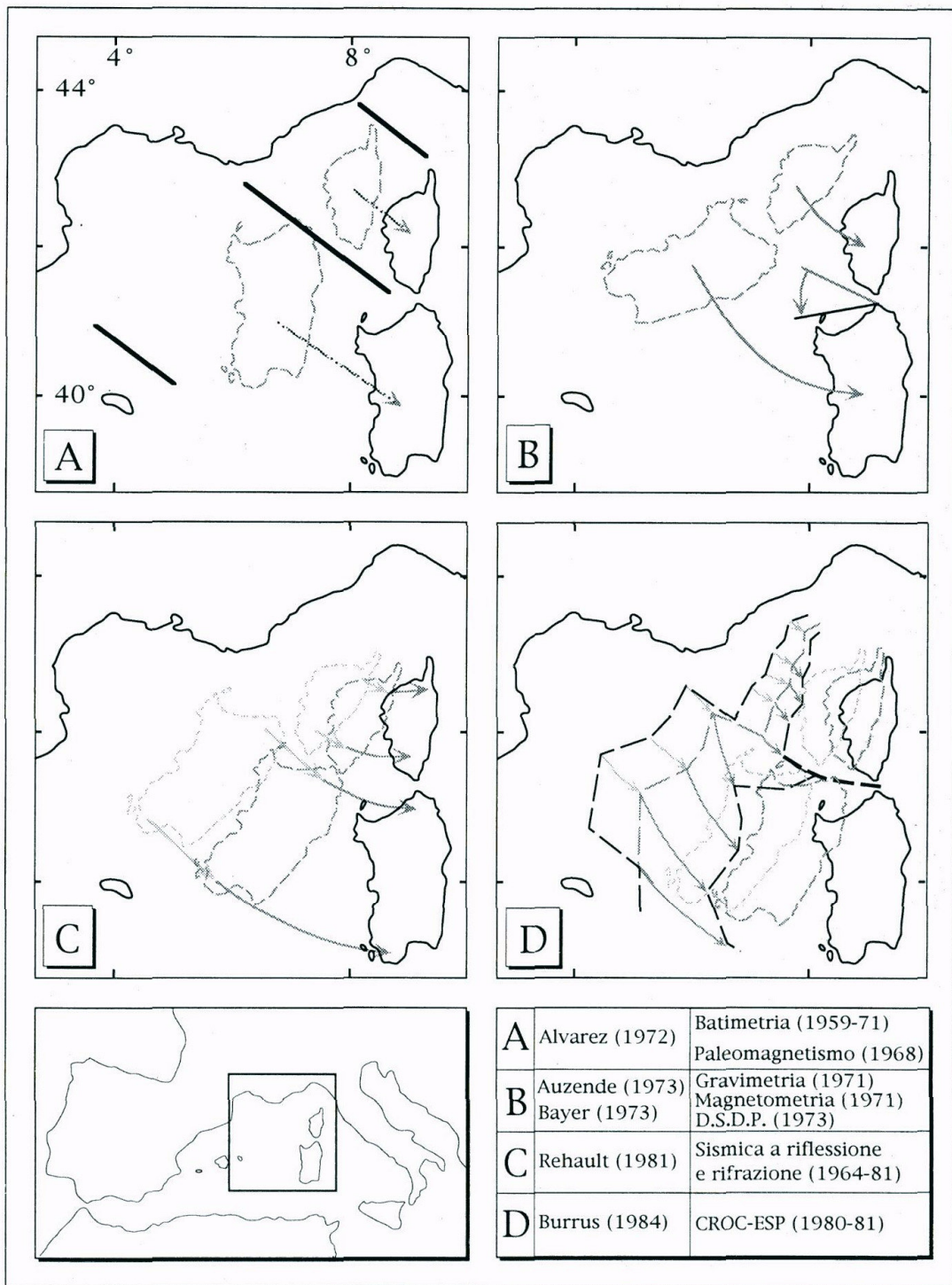


Fig. 3 - Modelli alternativi di movimentazione del Blocco sardo-corso durante l'apertura del Mediterraneo Occidentale.

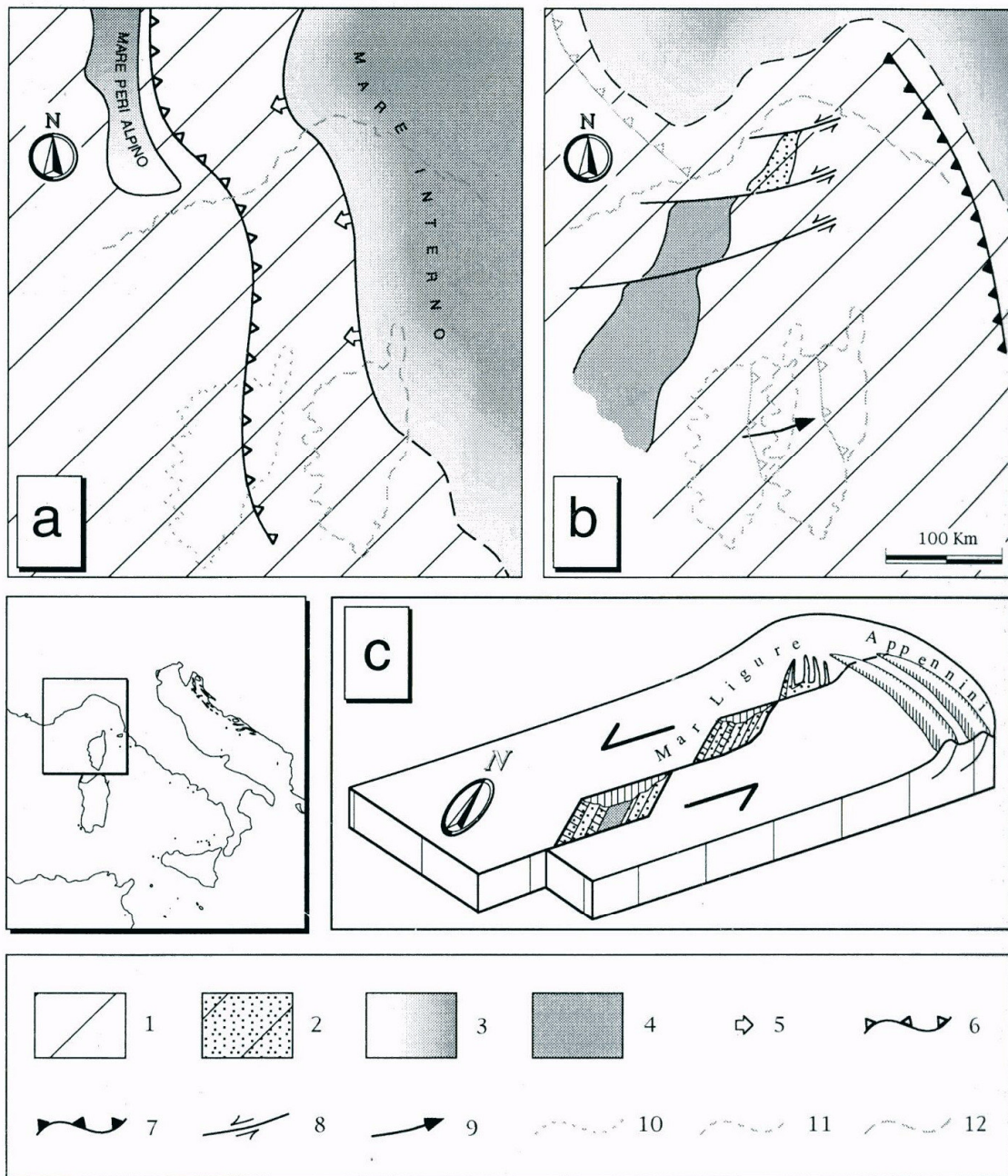


Fig. 4 - Evoluzione geodinamica dell'area in studio dall'Eocene superiore (a) al Miocene inferiore (b) e relativo schema tridimensionale (c): 1) aree emerse; 2) aree depresse a crosta continentale; 3) aree marine; 4) aree a crosta "oceanizzata"; 5) verso della trasgressione marina; 6) fronte tettonico alpino; 7) primo fronte appenninico; 8) faglie trascorrenti; 9) direzione del drifting del Blocco; 10) paleoposizione della Corsica all'Eocene superiore; 11) paleoposizione della Corsica al Miocene inferiore; 12) linea di costa attuale.

ancor oggi molto netti, non dipendenti dalle fasi tettoniche più recenti, che ne possono aver guidato la rototraslazione (Fig. 5).

Se poi si vuole collegare con un rapporto di causa-effetto la migrazione del Blocco corso-sardo con la tetto-genesi appenninica, occorre ammettere che esso abbia avuto, nel corso della apertura del Bacino, una componente di moto verso N-E.

Analogamente, la genesi dell'orocline alpino e la sovrapposizione tra unità alpine e appenniniche in Liguria devono aver comportato una spinta N-S.

Non è plausibile attribuire tutti questi processi ad una fase di apertura con moto verso SE, come ammettono i modelli citati.

Gli interrogativi posti dalle recenti acquisizioni, in rapporto ai modelli tradizionali, ci hanno stimolato a proporre un nuovo modello strutturale e cinematico dell'area, di cui viene presentata una prima versione.

2. ASSETTO STRUTTURALE E SUA ACQUISIZIONE

Il Bacino Ligure si differenzia da tutti gli altri settori del Mediterraneo nord-occidentale per complessità tettonica e vicissitudini evolutive. La crosta di tipo oceanico, che nel resto del Bacino si situa in posizione assiale, all'altezza della congiungente Nizza-Punta Revellata si approssima alla costa NE terminando bruscamente poco dopo (Fig. 5).

L'area costituisce zona di contatto e/o sovrapposizione di diverse unità geodinamiche di grande importanza regionale e di origine ed età diverse:

- la *catena alpina* è già completamente delineata, anche se con andamento diverso dall'attuale, nell'Eocene superiore (Fig. 5a), periodo in cui la Corsica è ancora solidale al continente europeo. Dopo una fase di sollevamento, essa inizia ad essere interessata dalla trasgressione di un mare posto ad NE (Bacino terziario ligure-piemontese), nell'Oligocene inferiore (Fig. 4a);
- al passaggio tra Oligocene e Miocene, tra 21 e 18 M.a., l'apertura del nuovo *Mediterraneo Occidentale* crea un Bacino che si estende da S verso N e separa il Blocco Sardo-Corso dall'Europa, sovrainponendosi all'orogene alpino e smembrandolo in due tronconi uno dei quali rimane solidale con il nuovo Blocco e lo segue nella sua deriva verso E (Fig. 4b);
- l'impatto tra il nuovo Blocco litosferico in migrazione e il margine occidentale insubrico (adriatico) dà inizio alla tetto-genesi appenninica propriamente detta. La spinta si propaga verso E attivando importanti superfici di taglio intracrostali e completando via via l'architettura dell'*orogene appenninico*. L'antico "bacino interno" viene oblitterato e si forma verso NE l'avanfossa della catena appenninica (Figg. 4b-5a);
- più tardi, nel Miocene superiore, mentre ancora l'Appennino è in formazione, un nuovo sistema di bacini viene a sovrainporvisi procedendo da S: è il *sistema tirrenico* che smembra e fa sprofondare in parte la catena interna, mentre quella esterna continua la sua evoluzione deformativa.

Questa "breve storia" dell'area ne riassume i caratteri e l'evoluzione già noti in letteratura, ma vi sono altri elementi da prendere in considerazione per meglio chiarire le ragioni dell'assetto strutturale del bacino e dei suoi margini:

- la propagazione del meccanismo d'apertura del Bacino provenzale verso Nord, quale che esso sia stato, si è ad un certo punto bloccata;
- nello stesso tempo però la parte settentrionale del Blocco corso deve essersi svincolata dalla paleoeuropa per traslare anch'essa in quanto non vi sono, nella geometria del sistema, possibilità alternative;
- tutti i principali lineamenti strutturali del Mar Ligure sono orientati in senso SW-NE. Alcuni di essi hanno andamento curvilineo (vedi Figg. 4 e 5);

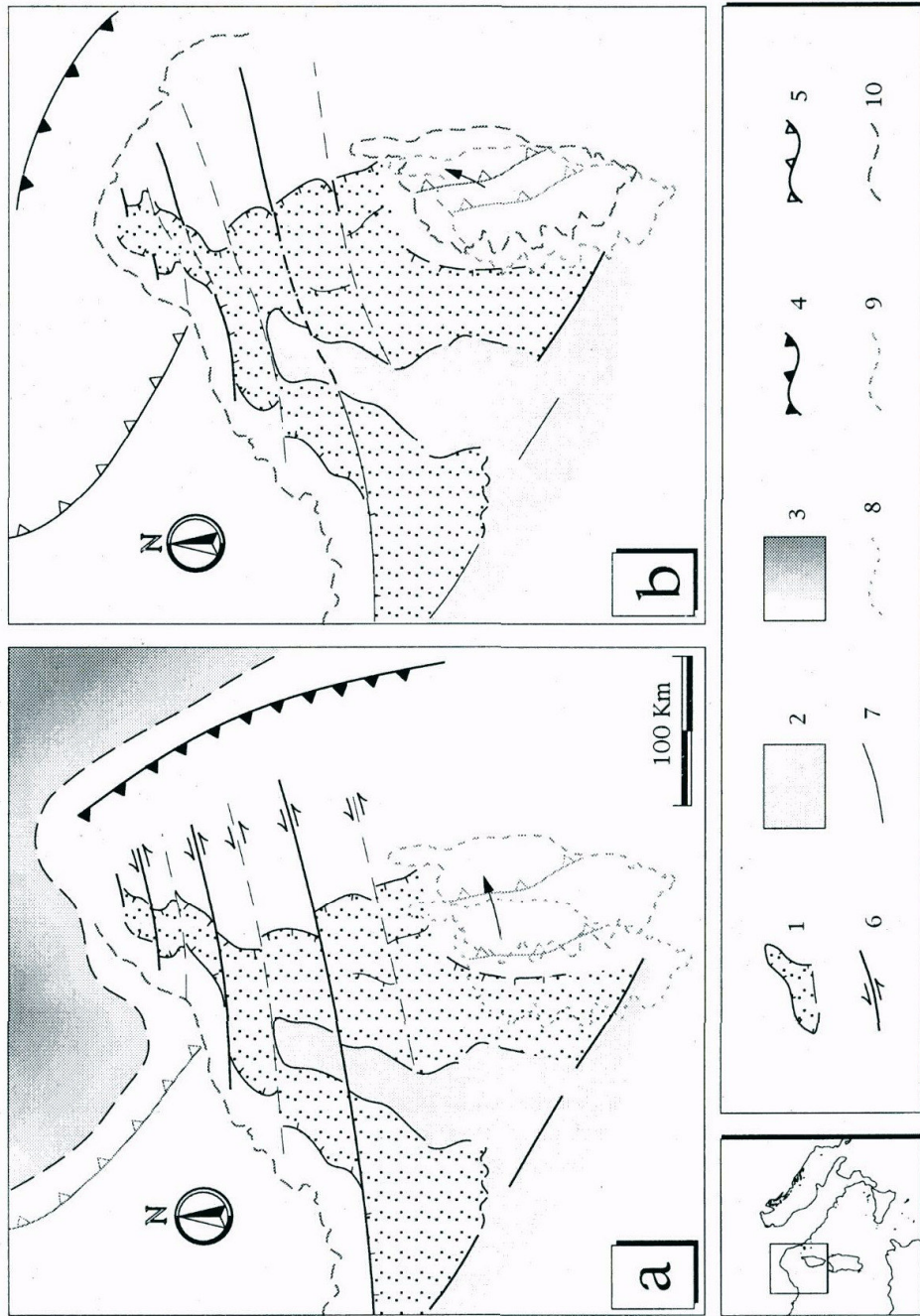


Fig. 5 - Schema di evoluzione geodinamica dell'area dal Miocene inferiore (a) al Miocene medio-superiore (b).
 In legenda: 1) aree a crosta continentale assottigliata; 2) aree a crosta oceanica; 3) aree marine; 4) fronte tettonico appenninico; 5) fronte tettonico alpino deformato; 6) faglie trascorrenti e trasformanti; 7) faglie inattive o ad attività irrilevante; 8) posizione della Corsica al Miocene inferiore; 9) posizione della Corsica al Miocene medio-superiore; 10) linea di costa attuale.

- le fasi disgiuntive immediatamente posteriori all'apertura originano strutture prevalentemente orientate N-S, mentre le fasi plio-pleistoceniche, per quanto limitate nell'entità, determinano l'assetto strutturale attuale per riattivazione di strutture più antiche che non possono che risalire alle fasi di apertura (Figg. 4 e 5).

L'unica ottica plausibile per inquadrare tutti questi fatti consiste, a nostro avviso, nell'ammettere che la rototraslazione del Blocco corso si sia risolta, alla sua estremità settentrionale, in un movimento lungo alcune grandi linee (o fasce) trascorrenti (Fig. 4b e c), generando bacini di pull-apart che, al termine del moto stesso, si sono trovati in diverse stadi evolutive: il bacino principale ha acquisito una crosta di tipo oceanico, che si è saldata con quella del Bacino provenzale.

3. EVOLUZIONE POST-APERTURA

Per chiarire meglio alcune delle affermazioni precedenti occorre considerare anche l'evoluzione post-apertura del Bacino e delle aree limitrofe, tutt'ora in atto e piuttosto complessa.

La prima fase tettonica che può considerarsi decisamente post-apertura è una fase disgiuntiva importante che crea depressioni ad asse prevalente N-S (e/o NNE-SSW) e che interessa la Corsica, il suo prolungamento settentrionale, la parte interna della catena appenninica dell'epoca (bacini paleotirrenici Auct.) e la bordura dei bacini occidentali (Fig. 6a). Essa risale al Miocene inferiore-medio (fine Burdigallano-Langhiano) e oblitera in gran parte le strutture di apertura sul lato orientale del Mar Ligure. Nelle depressioni si depositano sedimenti carbonatici in area alpina, carbonatico-terrigeni in Corsica e di tipo molassico in Toscana (Arenarie a Scudelle Auct.).

Alcune delle depressioni risultano con evidenza obliterate in seguito, con i livelli sedimentari deformati ed erosi. I livelli della sequenza sedimentaria del Miocene superiore occupano spazi diversi e più ristretti (Fig. 6b). A N il Bacino ligure-piemontese scompare e si depositano le facies litoranee dei nuovi bacini episuturali; i flysch miocenici della Finestra di Bobbio vengono sovrascorsi dalle altre unità appenniniche e alpine. Tutto questo si inquadra come conseguenza di una fase compressiva importante, che interessa prevalentemente il settore centro-orientale dell'area in esame, nel corso della quale l'assetto della regione si ridefinisce ulteriormente avvicinandosi all'assetto attuale.

Alcune strutturazioni significative dell'Appennino ligure (assi di pieghe orientati WNW-ESE, piega retroflessa della Spezia etc.) possono essere visti come effetti di questa fase, che certamente ha avuto un importante ruolo nella genesi dell'oroclineo delle Alpi Liguri.

Il Blocco corso-sardo ha funzionato da veicolo delle spinte, derivanti dalla convergenza Africa-Europa, deformandosi solo in parte, nel Serravallano-Tortoniano.

Immediatamente dopo ha inizio il processo di apertura del Tirreno. I bacini che interessano l'area in esame non sono in continuità con i bacini tirrenici propriamente detti, ma fanno parte comunque del sistema. La loro apertura prende avvio nel Tortoniano superiore-Messiniano e si propaga verso NW durante il Pliocene inferiore, seguendo le eredità strutturali della fase compressiva precedente. Essi si sovrappongono tanto alla catena appenninica interna, che al Blocco corso, che alle Alpi liguri, spingendo la loro estremità propaggine entro il Golfo di Genova (Fig. 6b).

Nel Pliocene inferiore l'area occidentale viene interessata dal processo di rifting che in Sardegna da origine al magmatismo basaltico alcalino e che si sviluppa lungo il margine occidentale del Blocco, piegando a NE entro il Bacino ligure e propagandosi alla fine attraverso il Blocco stesso secondo una delle direttrici attive durante l'apertura del Bacino, creando così la depressione detta Valle della Spezia (Fig. 6B).

Contemporaneamente il margine delle Alpi Liguri subisce un brusco collasso di breve durata: la tendenza si inverte già nel Pliocene inferiore e si attiva un sollevamento di

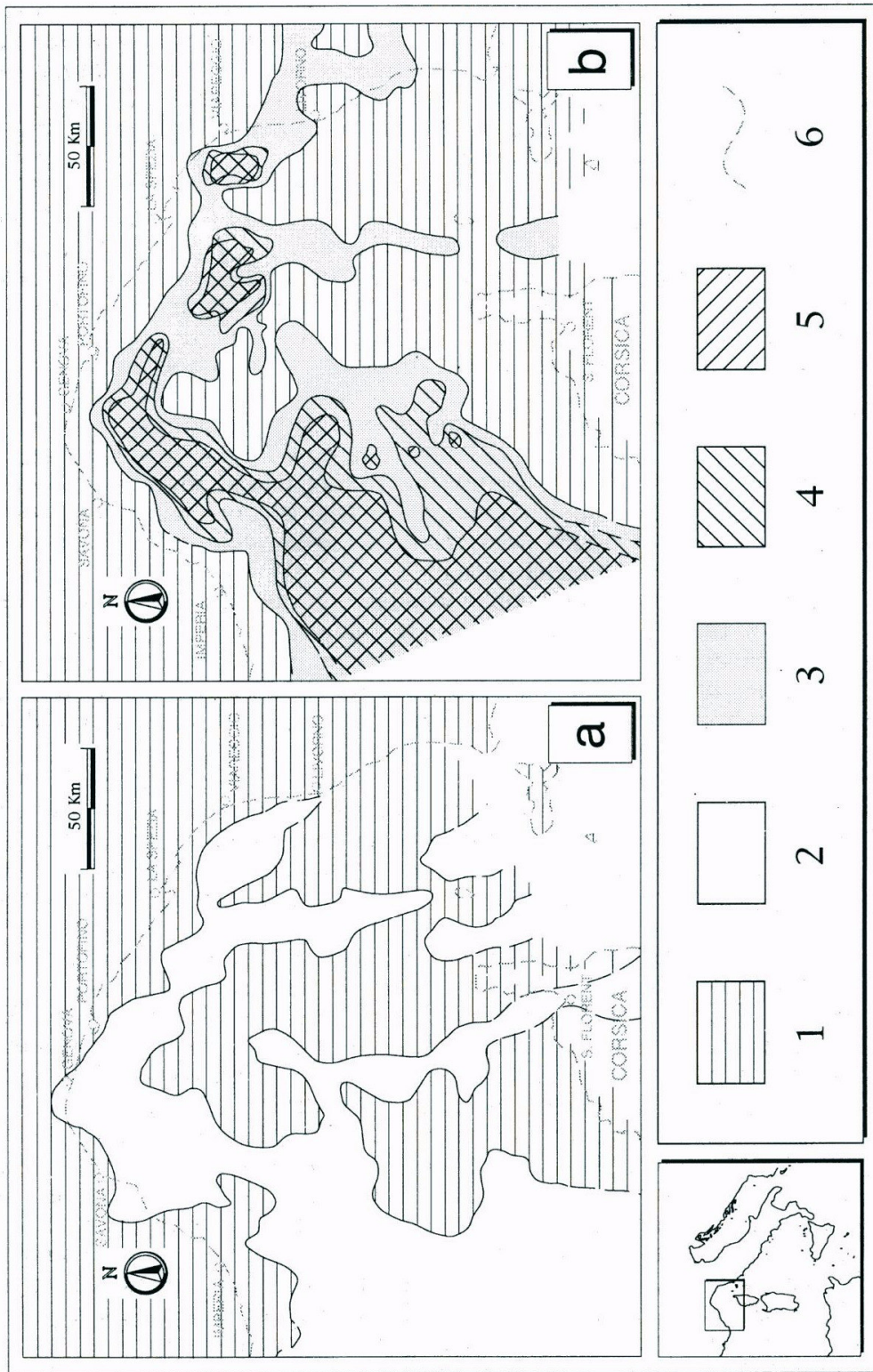


Fig. 6 - Situazione delle aree di sedimentazione (riferita alla geografia attuale) nel Miocene medio (a) e nel Messiniano (b): 1) aree emerse; 2) aree di sedimentazione detritica o carbonatica del Miocene medio; 3) estensione del livello evaporitico superiore; 4) estensione del livello salifero e delle evaporiti inferiori; 5) estensione del livello terrigeno pre-evaporitico; 6) linea di costa attuale.

parte del margine che dura tuttora. Si ritiene questa fenomenologia, relativa al tratto Genova-Frejus, inquadrabile in un contesto di margine attivo incipiente, precocemente bloccato dal trasferimento e assorbimento delle spinte verso N, con deformazioni nei depositi coevi dei bacini episuturali del basso Piemonte e nell'arco del Monferrato.

Dal Pliocene superiore in poi le altre parti del margine subiscono una tettonica verticale che si concretizza soprattutto in subsidenza e causa una generale accentuazione di dislivelli. E' inquadrabile in un contesto di attività disgiuntiva a blanda componente estensiva, ma di notevole importanza per l'assetto morfo-strutturale dell'arca. Sul margine corso i fenomeni possono essere visti come fase post-rift pliocenico, ma nel resto dell'area è evidente che, almeno nel Pleistocene superiore, parte un fenomeno nuovo, non semplice conseguenza tardiva delle fasi pregresse.

Attualmente si discute molto sul significato della sismicità caratteristica del Bacino ligure s.s. con meccanismi focali compressivi o transpressivi: c'è chi vorrebbe riproporre un modello di margine attivo incipiente analogo a quello invocato per spiegare la fenomenologia eo-pliocenica. E' comunque notevole il fatto che i fenomeni interessino il solo Bacino Ligure e i suoi confini geologici senza estendersi minimamente alle zone limitrofe, per quanto interessate da tettonica in atto (Fig. 7).

4. CONCLUSIONI

Le linee di svincolo tra Corsica e Paleoeuropa sono da considerare per posizione e geometria come prolungamento o vicarianti della NPF (faglia nord-pirenaica; Figg.4 e 5). Un'altra linea di sblocco, parallela, può essere stata attiva più a N (Ligurian Fault Auct); si giustificerebbe così il limite settentrionale dell'edificio appenninico eo-miocenico che, tra l'altro, si è deformato con assi tettonici NW-SE, perpendicolari alle terminazioni orientali delle faglie in questione. La faglia settentrionale è stata fatta rigiocare dalle fasi compressive posteriori come superficie di accavallamento ed è in gran parte obliterata, mentre le altre hanno continuato a funzionare come fasce di focalizzazione dell'attività nel corso delle fasi distensive, continuando così a influenzare l'assetto morfo-strutturale del Mar Ligure.

L'età della sua apertura è vincolata dalla stratigrafia dei lembi sedimentari costieri che si riallacciano inizialmente al Bacino oligocenico ligure-piemontese e poi al nuovo Bacino mediterraneo. Nell'attuale fascia costiera compresa tra Genova e Albenga la sedimentazione si arresta alla fine dell'Aquitano e riprende solo nel Burdigaliano finale-Langhiano. Il processo d'apertura può aver occupato un tempo quasi pari alla durata del Burdigaliano stesso.

Nel corso delle fasi di apertura e della fase compressiva del Miocene medio-superiore il Blocco corso ha assunto un ruolo in qualche modo attivo, mentre nel corso della fase distensiva mesomiocenica è stato interessato allo stesso modo del Bacino e della catena appenninica interna; le fasi disgiuntive più tarde ne hanno interessato prevalentemente i contorni. Ci sarebbe da aspettarsi che, a questa riduzione d'estensione faccia riscontro un assottigliamento della litosfera costituente il Blocco. In effetti tutta l'area sardo-corsa è caratterizzata da spessori litosferici e crostali tutt'altro che elevati (Fig. 2), rispetto ai quali l'elevazione altimetrica massima e media della Corsica risultano come evidenti anomalie, soprattutto se confrontate con le quote che caratterizzano la Sardegna. Altra evidente anomalia dell'arca in esame è la profondità del substrato "oceanico" nel Bacino ligure che sfiora i 10.000 m. Anche immaginando di togliere le colmate sedimentarie e di effettuare l'opportuna correzione isostatica rimane sempre una profondità intorno ai 6.000 m troppo elevata per una situazione "normale". Una vera e propria analisi della fisiografia, comparata alla struttura litosferica, resta ancora da fare nella zona, ma da queste semplici considerazioni riprende vigore l'idea che l'arca sia soggetta nella

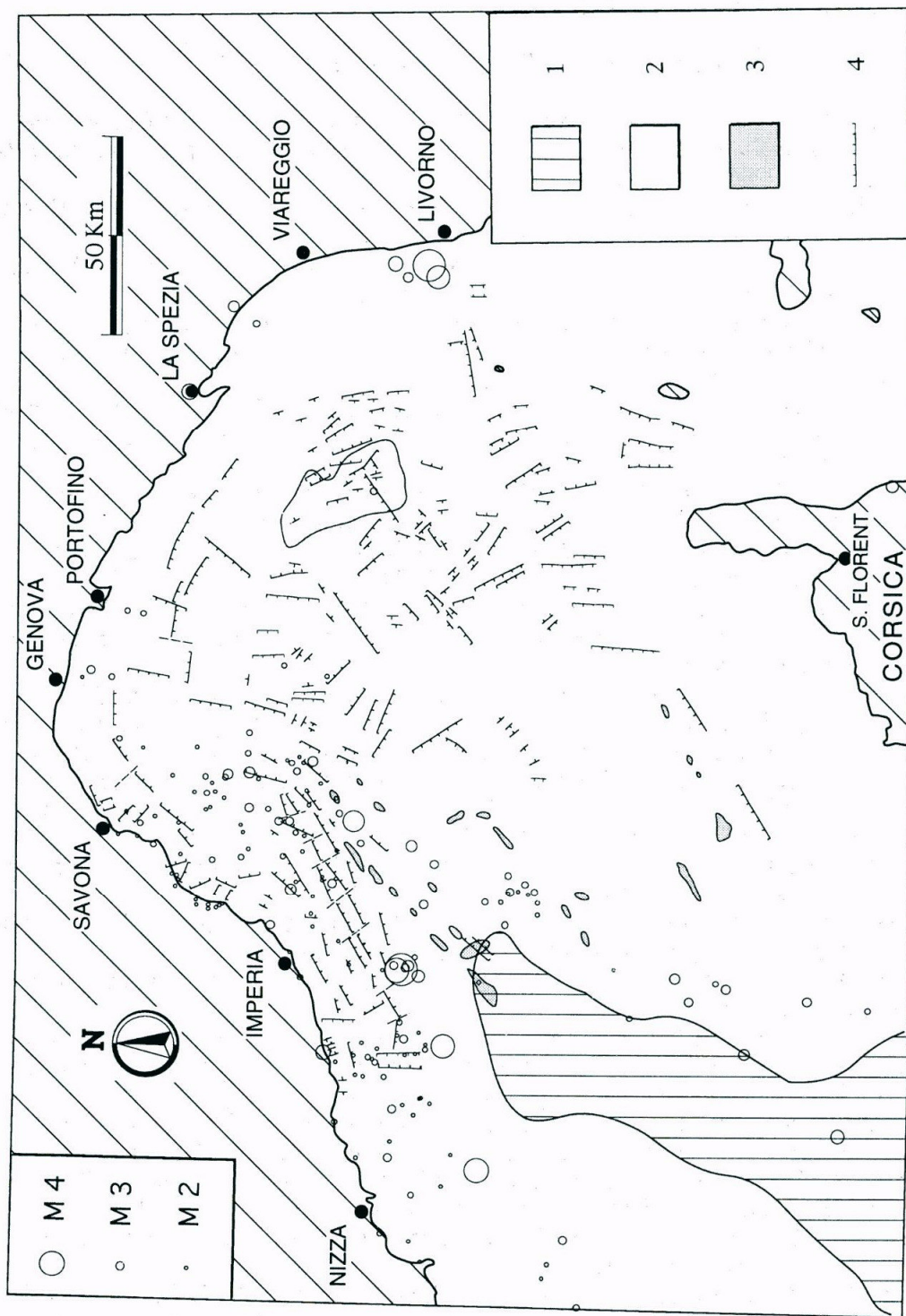


Fig. 7 - Attività neotettonica e sismica in Mar Ligure, riferita alle rilevazioni strumentali degli ultimi vent'anni (da Eva et al., 1989, modificato): 1) faglie dirette; 2) strutture saline (muri di sale); 3) crosta oceanica; 4) epicentri dei sismi (di diametro proporzionale all'intensità).

sua parte occidentale ad un campo di sforzo di natura compressiva che tenderebbe a tenere depressa la litosfera oceanica facendola sottoscorrere al Blocco corso.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Alvarez, W. 1972. Rotation of Corsica-Sardinia microplate. *Nat. Phys. Sc.*, 235: 103-105
- Arthaud, F. & F. Matte. 1977. Determination de la position initiale de la Corse et de la Sardaigne a la fin de l'orogenese hercynienne grace aux marques geologiques ente-mésozoiques. *Bull. Soc. Geol. France*, 1: 833-840.
- Auzende, J.M., J. Bonin, J.L. Olivet. 1973. The origin of the Mediterranean Basin. *Jour. Geol. Soc. London*, 129: 607-620
- Bayer, R., J.L. Lemoine, X. Le Pichon. 1973. Magnetic anomaly pattern in the Western Mediterranean. *Earth and Planetary Sc. L*, 19: 168-176
- Bethoux, N., M. Cattaneo, P.Y. Delpech, C. Eva & J.P. Rehault. 1988. Mécanismes au foyer de séismes en Mer Ligure et dans le Sud des Alpes occidentales: resultatas et interpretations. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307: 71-77.
- Boccaletti, M. & G. Guazzone. 1972. Gli archi appenninici, il Mar Ligure ed il Tirreno nel quadro della tettonica dei bacini marginali retro-arco. *Mem. Soc. Geol. It.*, 11 (2): 201-216.
- Boillot, G., L. Montadert, M. Lemoine & B. Biju-Duval. 1984. Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France. Ed. Masson, Paris.
- Burrus, J. 1984. Contribution to a geodynamical synthesis of the Provençal Basin (North Western Mediterranean). *Marine Geology*, 55: 247-259
- Delia Vedova B., F. Lucazeau, V. Pasquale, G. Pellis & M. Verdoya. 1992. Heat flow in the tectonic provinces crossed by the southern segment of the European *Geotraverse.Tectonophysics*, 244: 57-74.
- De Voogd, B, R. Nicolich, J.L. Olivet, F. Fanucci, J. Burrus, A. Mauffret, G. Pascal, A. Argnani, J.M. Auzende, M. Bernabini, C. Bois, L. Carmignani, A. Fabbri, I. Finetti, A. Galdeano, C.Y. Gorini, P. Labaume, D. Lajat, P. Patriat, B. Pinet, J. Ravat, F. Ricci Lucchi & S. Vernassa. 1991. First deep seismic reflection transect from the Gulf of Lions to Sardinia (ECORS-CROP Profiles in Western Mediterranean). *Geodynamics*, 22: 265-274.
- Durand-Delga, M. 1984. Principaux traits de la Corse alpine et correlations avec les Alpes Ligures. *Mem. Soc. Geol. It.*, 28: 285-329
- Eva, C., M. Cattaneo, G. Giglia & P. Augliera. 1989. Seismotectonics of the Western Alps (Italy). *25th General Assembly of IASPEI*, Istanbul.
- Fanucci, F. 1986. Evolution stratigraphique de la région du Golfe de Gênes depuis l'Eocène supérieur. *Mem. Soc. Geol. It.*, 36: 19-30.
- Fanucci, F., M. Firpo, D. Morelli & M. Piccazzo. 1994. Il Mar Ligure: origine e storia di un bacino mediterraneo. In: Studi geografici in onore di Domenico Ruocco (a cura di F. Citarella), Loffredo Ed., Napoli: 117-130.
- Fanucci, F. & R. Nicolich. 1984. Il Mar Ligure: nuove acquisizioni sulla natura, genesi ed evoluzione di un "bacino marginale". *Mem. Soc. Geol. It.*, 27: 97-110.
- Giammarino, S. 1984. Evoluzione delle Alpi Marittime liguri e sue relazioni con il bacino terziario del Piemonte e il Mar Ligure. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, A91: 1-25.
- Laubscher, H.P. 1988. The arcs of the Western Alps and the north Apennines: an update view. *Tectonophysics*, 146: 67-78.
- Laubscher, H.P., G.C. Biella, R. Cassinis, R. Gelati, A. Lozej & S. Tobacco. 1992. The collisional knot in Liguria. *Geologische Rundschau.*, 81 (2): 275-289.

- Le Douaran, S., J. Burrus & F. Avedik. 1984. Deep structure of the North Western Mediterranean basin: results of a two ships seismic survey. *Marine Geology*, 55: 325-346.
- Mauffret, A., J.P. Rehault, M. Genesseeux, G. Bellaiche, M. Labarbaric & D. Lefebvre. 1980. Western Mediterranean Basin evolution from a distensive to a compressive regime. In: *Sedimentary Basins of Mediterranean Margins* (F.C. Wezel Ed.), C.N.R., Urbino: 67-71.
- Morelli, D., F. Fanucci & S. Santini. 1993. Struttura ed evoluzione del Mediterraneo occidentale: alcuni risultati del progetto ECORS-CROP. *Atti del XII Conv. Naz. del G.N.G.T.S.*: 113-125.
- Nicolich, R. 1977. Some remarks on the uppermost structure of the Ligurian Sea, based on seismic reflection data. *Boll. Geof. Tear. Appl*, XIX: 207-213.
- Panza, G.F., G. Calcagnile, P. Scandone & S. Mueller. 1980. La struttura profonda dell'area mediterranea. *Le Scienze*, 141: 60-69.
- Pascal, G.P., A. Mauffret & P. Patriat. 1993. The ocean-continent boundary in the Gulf of Lion from analysis of expanding spread profiles and gravity modelling. *Geophys. Journ. Int.*, 113: 701-726.
- Pasquale, V., M. Verdoya & P. Chiozzi. 1995. Rifting and thermal evolution of the Northwestern Mediterranean. *Ann. Geof.*, XXXVIII, 1: 43-53.
- Rehault, J.P. 1981. Evolution tectonique et sédimentaire du Bassin Ligure (Méditerranée occidentale). Thèse d'état. Inedito, Université Paris VI, 138 p.
- Rehault, J.P., G. Boillot & A. Mauffret. 1984. The Western Mediterranean Basin: geological evolution. *Marine Geology*, 55: 447-478.